

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Studium vlivu povrchové úpravy kovového
substrátu před aplikací práškových povlaků
na jejich kvalitu

Study of the Influence Surface Treatment Metal
Substrate Before Application of the Pulverized
Coatings on their Quality

Student:

Bc. Zdeněk Švéda

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc

Ostrava 2009

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucí mé diplomové práce doc. Ing. Jitce Podjuklové CSc. za její odbornou pomoc a vstřícné jednání při zpracovávání této práce. Dále bych chtěl touto cestou poděkovat Karlu Papouškovi z firmy Loader Novotný za cenné rady, poskytnutí odborných podkladů a možnost provedení praktické části diplomové práce.

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst.3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě:

.....

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

ŠVÉDA, Z. Studium vlivu povrchové úpravy kovového substrátu před aplikací práškových povlaků na jejich kvalitu. Ostrava: katedra mechanické technologie, Fakulta strojní VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2009, 88 s. Diplomová práce, vedoucí Podjuklová, J.

Diplomová práce se zabývá studiem příčin vzniku koroze na dílcích lakovaných práškovými povlaky, spolu s řešením vhodné protikorozní ochrany.

Tato práce obsahuje podrobný popis současného stavu technologie práškového lakování v daném podniku. Obsahuje experimentální práce volené dle ČSN, které ověřují kvalitu protikorozní úpravy dílců.

Výsledkem experimentů je návrh nové technologie předúpravy použitím „zalévání“ koutových spár konstrukcí tekutými nátěrovými systémy vhodnými pro použití ve vysokých teplotách kvůli dalšímu zpracování dílců, kterým je vytvrzování práškového povlaku v peci.

DIPLOMA THESIS ANNOTATION

ŠVÉDA, Z. Study of the Influence Surface Treatment Metal Substrate Before Application of the Pulverized Coatings on their Quality. Ostrava: Department of mechanical technology, Engineering faculty VŠB – Technical University Ostrava, 2009, 87s. Diploma Thesis, Tutor Podjuklová, J.

This thesis is studying the reason that cause of corrosion on sections varnished with pulverized coatings, together with solutions to suitable anti-corrosive protection.

This thesis includes detailed descriptions of contemporary state technology pulverized varnishing in a given company. It also includes experimental works chosen according to ČSN, which check quality of anti-corrosive form of component.

The results of the experiments are a proposal for new technologies for preliminary treatment of using stair rod „jointing“ construction by means of fluid paint systems which are suitable for use of high temperature due to another processing component, which is hardening rating powder in furnace.

OBSAH DIPLOMOVÉ PRÁCE

1. ÚVOD.....	10
2. ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU TECHNOLOGIE POVRCHOVÉ ÚPRAVY DÍLŮ PRÁŠKOVÝM LAKOVÁNÍM.....	11
2.1. Teoretický úvod	11
2.2. Technologický postup stávající technologie.....	12
2.3. Technický popis stávajícího strojního zařízení.....	13
Stavebnicová tryskácká komora SAF.....	13
Nepoháněný podvěsný dopravník.....	14
Kabina pro nanášení práškového plastu s příslušenstvím.....	14
Pistole EKP M+Z1	15
Komorová vytvrzovací pec KVP-P 1639	16
3. STUDIE NÁTĚROVÝCH HMOT	18
3.1 Informace o nátěrových hmotách.....	18
INVERPUL PE-EX primer epossidico fz grigio ral 7042.....	18
INVERPUL PE-P-Q BIANCO RAL 1013, INVERPUL PE-P-Q BLEU RAL 5001, INVERPUL PE-P-E NERO RAL 9005.....	19
4. STUDIE VZNIKU KOROZNÍCH VAD NA STROJNÍCH DÍLCÍCH UPRAVENÝCH NÁTĚRY PRÁŠKOVÝCH POVLAKŮ.....	21
4.1 Teoretický rozbor.....	21
NÁTĚROVÉ HMOTY A SYSTÉMY	32
Složení protikorozních nátěrových hmot.....	32
Rozdělení protikorozních nátěrových hmot.....	34
Nátěry s vysokou životností.....	35
APLIKACE NÁTĚROVÝCH HMOT	35
Nanášení nátěrové hmoty ručně – štětcem, popř. válečkem.....	37
Nanášení nátěrové hmoty máčením	37
Nanášení nátěrové hmoty stříkáním – pneumatickým stříkáním.....	37
Nanášení nátěrové hmoty navalováním.....	37
Nanášení nátěrové hmoty elektrostatickým stříkáním.....	37
EXPERIMENTÁLNÍ ZKOUŠKY POVRCHŮ A POVLAKŮ	38
ÚPRAVA POVRCHU PŘED APLIKACÍ NÁTĚROVÉHO SYSTÉMU	39
Úpravy povrchu	39
Důsledky špatně provedené úpravy povrchu	39
Hodnocení provedené úpravy povrchu	39
5. STUDIE VZNIKU KOROZNÍCH VAD NA DÍLCÍCH LESNÍCH A STAVEBNÍCH STROJŮ OPATŘENÝCH PRÁŠKOVÝMI POVLAKY	40
5.1 Příčiny vzniku korozních vad.....	40
5.2 Nalezené korozní vady zkoumaných dílců	42

6. NÁVRH METODIKY EXPERIMENTÁLNÍCH PRACÍ	44
Stanovení tloušťky suchého laku - EN ISO 2808	44
Stanovení drsnosti zkoušených povrchů – PN-ISO 3274: 1996	44
Korozní zkouška solnou mlhou – ASTM B117, ČSN ISO 9227	44
7. EXPERIMENTÁLNÍ ZKOUŠKY A JEJICH VYHODNOCENÍ	45
7.1 Charakteristika vzorků	45
7.1.1 Povrchová úprava zkušebních vzorků	46
7.2 Korozní zkouška solnou mlhou	47
Popis metody.....	47
Zkušební prostředky a pomůcky	48
Postup zkoušky	49
Tabulka naměřených hodnot.....	51
Podmínky laboratoře.....	61
Vyhodnocení zkoušky.....	61
7.3 Stanovení tloušťky suchého laku	62
Popis metody.....	62
Zkušební prostředky a pomůcky	63
Postup zkoušky	63
Tabulka naměřených hodnot.....	63
Podmínky laboratoře.....	64
Vyhodnocení zkoušky.....	64
7.4 Stanovení drsnosti zoxidovaného povrchu.....	65
Popis metody.....	65
Zkušební prostředky a pomůcky	65
Postup zkoušky	66
Tabulka naměřených hodnot.....	66
Podmínky laboratoře.....	82
Vyhodnocení zkoušky.....	82
8 ZÁVĚR	83
LITERATURA	85
SEZNAM OBRÁZKŮ	87
SEZNAM PŘÍLOH.....	88

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

λ_c	Filtr cut-off pro potlačení dvouvlňových složek měřené drsnosti	[mm]
L	Vyhodnocovaná délka profilu drsnosti	[mm]
Lr	Základní délka měření drsnosti	[mm]
OP	stupeň lesku matný $20 \pm 5G$	
PE	polyesterová pryskyřice pro venkovní použití	
Ra	střední aritmetická úchylka profilu	[μm]
Rq	střední kvadratická hodnota drsnosti	[μm]
Ry	nejvyšší hloubka drsnosti	[μm]
Rz	největší výška profilu	[μm]
SL	stupeň lesku lesklý $85 \pm 5G$	
TR	způsob aplikace TRIBO	

1. ÚVOD

Kovové konstrukce dnes nalezneme téměř ve všech odvětvích technické výroby, přičemž je ve většině případů nutné chránit samotný kovový substrát vhodnou povrchovou úpravou. Hlavním účelem těchto úprav je ochrana před korozí kovového substrátu společně s designovým a funkčním hlediskem. Jedním z častých požadavků na dnešní nátěrové systémy je tak například vysoká otěruvzdornost, pružnost, pevnost a především bezpórovitost systému zabraňující pronikání vlhkosti ke kovovému podkladu a následnému vzniku korozních produktů.

Právě zabránění vzniku korozních zplodin je jedním z nejčastějších požadavků firem pracujících s kovovými produkty, které je nutné pro jejich budoucí použití opatřit nátěrovým systémem. Ne vždy je však možné aplikovat barvy do všech míst hotové konstrukce, díky čemuž poté neochráněná místa podléhají koroznímu napadání. Pro tyto případy je nutné volit vhodné metody nanášení nátěrových systémů společně s vhodnou volbou samotného typu barev.

Tato práce se zaměřuje na nátěrové systémy prováděné pomocí nanášení práškových barev na konstrukcích stavebních a lesních strojů určených pro vysoké zatížení. Právě na konstrukcích těchto výrobků nelze díky složitosti samotné konstrukce povrchově upravit veškeré plochy kovového substrátu, díky čemuž následně dochází ke vzniku korozních produktů v nechráněných místech. Jelikož jsou pro konstrukci používány jako materiály uhlíkové neušlechtilé konstrukční oceli obvyklých jakostí vhodné ke svařování 11 523 a 11 375, je náchylnost neupravených ploch ke korozi velmi vysoká. V reálných podmínkách firmy Loader Novotný, jejíž výrobky jsou předmětem zkoumání této práce, dochází k viditelnému vzniku korozních zplodin již během několika týdnů po dokončení výroby strojů a odstavení na venkovním nechráněném skladu firmy. Právě tato krátká doba postačující pro vznik koroze na nechráněných místech strojů a její následné vytékání ze spár konstrukce částečně znehodnocuje nově vyrobený výrobek ještě předtím, než jej převezme samotný zákazník.

Proto se tato práce zabývá úpravou postupu nanášení nátěrového systému, která zabrání možnosti vzniku korozních produktů a jejich vystupování na povrch konstrukce stavebních strojů. Pro tyto účely jsou prováděny korozní zkoušky v komoře s neutrálním roztokem chloridu sodného, zkoumání vzniku korozních zplodin, měření úbytku tloušťky práškového povlaku vlivem koroze.

2. ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU TECHNOLOGIE POVRCHOVÉ ÚPRAVY DÍLŮ PRÁŠKOVÝM LAKOVÁNÍM

2.1. Teoretický úvod

Konstrukční kovové díly stavebních a lesních strojů firmy Loader Novotný jsou povrchově předupravovány tryskáním, či odmašťováním kovového substrátu. Metoda odmašťování je používána pouze u tenkých plechů, které by při tryskání byly poškozeny. Pro účely této diplomové práce a zkoumaných vad se dále zabývám pouze díly tryskanými, na nichž se vyskytují nalezené korozní vady.

Po základní předúpravě kovového substrátu tryskáním jsou dále díly povrchově upraveny práškovým lakováním.

Principem práškového lakování je nanesení prášku na povrch dílce a následné vytvrzení v peci. Prášek obsahuje pryskyřice, pigment, případně tvrdidla, aditiva a vytváří tak suchou práškovou konzistenci.

Pro aplikaci prášku na dílec se využívá stlačeného vzduchu, který po smísení s tímto práškem vytváří "tekutou směs". Aby prášek na dílci ulpěl (a nespadl dříve než dojde k vytvrzení v peci), je mu v aplikačním zařízení dodána elektrostatická energie (je "nabíjen"). Elektrostatická energie využívá fyzikálního jevu a to, že se opačně nabitě částice přitahují. To způsobuje přitahování práškových částic ke stříkanému dílci a následné jeho ulpění na povrchu dílce.

K "nabití" prášku jsou využívány dva základní způsoby:

ELEKTROSTATICKÉ NABÍJENÍ, TZV. STATIKA (KORONA)

práškové částice jsou "nabity" pomocí elektrody vysokého napětí, umístěné u ústí aplikační pistole. Tento způsob nabíjení je velmi rychlý a účinný, avšak není vhodný pro dílce s hlubokými záhlubněmi.

ELEKTROKINETICKÉ NABÍJENÍ, TZV. TRIBO

práškové částice jsou "nabity" třením v aplikační pistoly a hadicích, vyrobených např. z teflonu. Tento způsob nabíjení není tak efektivní jako "KORONA", ale je vhodnější pro dílce se záhlubněmi.

2.2 Technologický postup stávající technologie

Tab. 2.2.1 - Technologický postup stávající technologie práškového povlakování

Operace	Popis operace	Doba[min]
1	Přeprava dílců z výrobní dílny k tryskací komoře	2
2	Zavěšování a pokládání dílců do komory	5
3	Tryskání	5
4	Ofukování stlačeným vzduchem	2
5	Svěšování dílců	5
6	Přeprava z tryskací komory na lakovnu	3
7	Zavěšování dílců na závěsy v ochranných pomůckách	5
8	Přesun dílců do stříkací kabiny	1
9	Práškové lakování základního povlaku	10
10	Přesun na závěsech do komorové vytvrzovací pece	1
11	Zahřívání pece na konstantní teplotu 190°C	15
12	Vytvrzování povlaku, od 190°C začíná odpočet času	Tab. 2.2.2
13	Ukončení vytvrzování	1
14	Přesun z vytvrzovací pece do okolí pece v teplé zóně	2
15	Chladnutí naneseného vytvrzeného povlaku v teplé zóně	60
16	Přeprava dílců do stříkací kabiny	1
17	Práškové lakování vrchního povlaku	10
18	Přesun na závěsech do komorové vytvrzovací pece	1
19	Zahřívání pece na konstantní teplotu 190°C	15
20	Vytvrzování povlaku, od 190°C začíná odpočet času	Tab. 2.2.2
21	Ukončení vytvrzování	1
22	Přesun z vytvrzovací pece do okolí pece v teplé zóně	2
23	Chladnutí naneseného vytvrzeného povlaku v teplé zóně	60
24	Svěšování dílců	5

Tab. 2.2.2 – Vytvrzovací doby pro práškové povlaky jednotlivých vrstev

Dílec s vytvrzovaným povlakem	Čas vytvrzování v peci při 190°C [min]
Rám – základní nátěr	30
Rám – vrchní nátěr	45
Blatníky - základní nátěr	30
Blatníky – vrchní nátěr	35
Výložník - základní nátěr	30
Výložník – vrchní nátěr	40
Kabina - základní nátěr	30
Kabina – vrchní nátěr	35
Berany - základní nátěr	35
Berany – vrchní nátěr	35

2.3. Technický popis stávajícího strojního zařízení

[3]

Linka pro nanášení práškových plastů sestává z několika samostatných zařízení, jimž předchází linka předúpravy kovového substrátu tryskáním.

Stavebnicová tryskácká komora SAF

Stavebnicová tryskácká komora SAF sestává z pláště v plechovém provedení s akustickou izolací se zavěšujícími jednostrannými vraty, pryžového vyložení bočních a čelních stěn, osvětlení zářivkovými tělesy typu 51-5007, roštové podlahy, podpodlahového šnekového shrnování abraziva, korečkového dopravníku abraziva, protiproudého vzduchového čističe abraziva s rotačním sítem, vzduchového otryskávacího zařízení BLASTLINE, sady ochranných pomůcek pro obsluhu, odlučovacího zařízení PULSE JET a elektrovýstroje. Tryskání je prováděno ostrohranným abrasivem GL-80 (ocelová drť).

Požadavky na vstupní energie

Elektrická energie – 3 x 230/400 V – 50Hz

Stlačený vzduch pro tlakovzdušnou tryskací jednotku s tryskou o průměru 9,5 mm – 400 m³/hod, p=0,8 MPa

Stlačený vzduch pro odlučovač – 10 m³/hod, p=0,7 MPa

Nepoháněný podvěsný dopravník

Dopravník zajišťuje dopravu mezi jednotlivými částmi linky. Není poháněn mechanickým způsobem. Obsluha je pouze ruční. Upevnění dílců je řešeno pomocí háků.

Kabina pro nanášení práškového plastu s příslušenstvím

Pracoviště pro nanášení práškových plastů je vybaveno dvoustrannou integrovanou kabinou typu MAJKA 1163 PDB s integrovaným filtračním modulem. Filtrační modul je osazen výměnnými filtračními vložkami. Odsávaný vzduch je po dočištění ve výstupním filtru vrácen do prostoru lakovny.

Filtrační vložky prvního stupně filtrace jsou průběžně čištěny rázem tlakového vzduchu, který je elektromagnetickými ventily vpouštěn do vnitřního prostoru filtrů. Intervaly čištění jsou řízeny elektronickou časovací jednotkou. Prášek, který je v průběhu čištění oklepáván z filtračních vložek, je shromažďován ve sběrném žlábků kabiny. Tento žlábek je vyjímatelný. Pracovní prostor kabiny je tvořen panely z pozinkovaného plechu. Osvětlení pracovního prostoru je zajištěno zářivkovými osvětlovacími tělesy, umístěnými nad proskleným panelem stropu kabiny.

Součástí kabiny je kondenzační sušička stlačeného vzduchu Ultratroc BURAN COMPACT SD 0080 AP.

Technické parametry:

Odsáv. Množství vzduchu:	2 x 1,3 m ³ s ⁻¹
Počet filtračních vložek:	2 x 6
Elektrický příkon:	8,6 kW
Spotřeba tlakového vzduchu:	40 m ³ /hod

Pistole EKP M+Z1

EKP M+Z1 je elektrokinetická manuální pistole určena pro nanášení prášků schopných dostatečné elektrizace (získání el. náboje třením) na uzemněné předměty. Tento systém je vhodný pro tvarově členité dílce, hluboké dutiny, drátěný program, vrchní vrstvy a opravy již nastříkaných dílců.

Pistole je navržena pro manuální nanášení prášku ze zásobníku prášku případně z nádoby. Předností pistole je jednoduchost a s tím spojená spolehlivost, snadná změna odstínu a minimální investiční náklady na celé pracoviště.

Funkce pistolí EKP spočívá v přivedení prášku přes směšovací komůrku do nabíjecí trubice, kde se prášek urychlí a zvíří tlakovým vzduchem. Při průchodu nabíjecí trubicí získává prášek třením elektrický náboj. Nabité částice prášku vystupující z pistole jsou přitahovány k uzemněným předmětům. Pistole viz. **Obr. 2.1**

Základní technické parametry:

Provozní výkon: do 12kg/h

Provozní tlak vzduchu: 0,5 – 3 bar

Spotřeba vzduchu: do 5 m³/h

Tlaková odolnost: 6 bar

Vlastnosti tlakového vzduchu:

- obsah vody max. 1,3 g/m³

- obsah oleje max. 1,0 g/m³

- teplota max. 25°C

Připojovací rozměry

- vzduch DN 10-3,4,5 nebo 6m

- podávání prášku zásobník 11itr

Hmotnost 700 g

Komorová vytvrzovací pec KVP-P 1639

Komorové vytvrzovací pece s ohřevem vzduchu plynovým hořákem jsou určeny k vytvrzování povlaků zhotovovaných z práškových plastů. Jsou vhodným technologickým vybavením pro práškové lakovny s diskontinuálním režimem práce, s dopravou upravovaných předmětů na převážecích vozících, případně na závěsech nepoháněného podvěsného dopravníku.

Vytvrzovací pece jsou vyráběny na zakázku, velikost pracovního prostoru je upravována podle požadavků jednotlivých zákazníků.

Komorová vytvrzovací pec je složena z následujících částí:

- pracovní prostor
- plynový hořák s výměníkem
- dvojice ventilátorů
- rozvaděč s ovládacím panelem

Pracovní prostor komorové pece je uzavřený, s dvojicí jednokřídlových zavěšecích dveří. Stěny komory jsou dvojité, s izolační mezivrstvou, která zajišťuje dokonalou tepelnou izolaci.

Plynový ohřívač vzduchu je vybaven hořákem typu JUNIOR G5. Spaliny vyhřívají vnitřní prostor výměníku tepla a jsou odváděny výfukovým potrubím. Vnější povrch výměníku je intenzivně ofukován cirkulujícím vzduchem, čímž je zajištěn rychlý odvod tepla a rovnoměrné rozložení teploty v pracovním prostoru.

Použité ventilátory jsou středotlaké, jejich výkon je volen tak, aby byla zajištěna dostatečná cirkulace vzduchu v pracovním prostoru.

Rozvaděč s ovládacím panelem obsahuje silové a jistící prvky veškerého elektropříslušenství vytvrzovací pece včetně regulace ohřevu. Regulace teploty je řízena pomocí regulátoru PID. Princip regulace spočívá ve snižování topného výkonu vypínáním hořáku před dosažením nastavené vytvrzovací teploty. Tímto způsobem je zajištěno, že oscilování skutečné teploty v pracovním prostoru pece kolem jmenovité hodnoty nastavené na regulátoru bude co nejmenší.

Vytvrzovací pec nelze používat pro sušení povlaků zhotovených z rozpouštědlových nátěrových hmot (s výjimkou vodou ředitelných) a všech hořlavých látek, jejichž plyny a páry mohou se vzduchem vytvářet výbušnou směs.

Základní technické parametry:

Označení typu: KVP-P 1639

Rozměry pracovního prostoru:

Šířka: 1 400 mm

Výška: 2 000 mm

Hloubka: 2 800 mm

Elektrická energie:

- elektromotor ventilátorů: 2 x 2,2 kW

Topný výkon: 67,5 kW

Topné médium: zemní plyn

Max. vytvrzovací teplota: 220 °C

Materiálové provedení: pozinkovaný plech, izolace ORSIL



Obr. 2.1 – Pistole EKP M+Z1

3. STUDIE NÁTĚROVÝCH HMOT

3.1 Informace o nátěrových hmotách

Tab. 3.1 – Studie nátěrových hmot

Název	Odstín	Provedení	Lesk	Povrch	Aplikace
INVERPUL PE-EX GRIGIO	RAL 7042 šedá	EX základová barva	Lesklá SL	hladká	tribo, e-statika
INVERPUL PE-P-Q BIANCO	RAL 1013 bílá	PE/Q venkovní fasádní	Lesklá SL	hladká DF	tribo, e-statika
INVERPUL PE-P-Q BLEU	RAL 5001 modrá	PE/Q venkovní fasádní	Lesklá SL	hladká DF	tribo, e-statika
INVERPUL PE-P-E NERO	RAL 9005 černá	PE/M venkovní fasádní	Matná OP	hladká	tribo, e-statika

INVERPUL PE-EX primer epossidico fz grigio ral 7042

Specifikace

Tento teplem tvrditelný prášek s epoxidovou pryskyřicí a adekvátním tvrdidlem , obsahuje speciální antikoroziční přísady. Typ výrobku a stupeň tvrdosti vytvořeného filmu má dobrou odolnost proti chemikáliím , pohonným látkám , olejům a mechanickému poškození. Obsahuje bezolovnatá a bezchromová barviva.

Použití

Tento výrobek je obecně používán pro zvýšenou antikoroziční ochranu kovů.

Doporučená předúprava

Aplikace zejména na pískovaný povrch (SA 2,5 – 3) jako podklad o tloušťce vrstvy 50-70μ před dalším lakováním epoxy-polyesterovými a polyesterovými práškovými barvami Inverpul. Před aplikací musí být povrch očištěn od olejů , koroze a mastnoty. Tento podkladový prášek nemůže být použitý samostatně ani jako „topcoat“ vrchní poslední vrstva .Nedoporučujeme používat tento produkt jako podkladovou vrstvu pod ředitelné barvy.

Doporučený postup nanášení

Nanášení automaticky nebo manuálně pistolemi se záporným nábojem (60/80 KV) nebo triboelektrickými pistolemi (pistolemi, kde elektrický náboj vzniká třením). Doporučuje se nanášet ve vrstvách o tloušťce 50 – 70 μ a vytvrzovat při teplotě 180°C na 15 minut.

Tab. 3.2 – Technické údaje nátěrových hmot INVERPUL PE-EX GRIGIO RAL 7042

CL092	Specifická hmotnost (kg/l)	1,448 - 1,508
CL120	Obsah netěkavých látek (w/w) (%) 3 h při 105°C Referenční metoda	99,9 - 100,0 UNI EN ISO 3251
CL125	Obsah netěkavých látek (v/v) (%) Referenční metoda	99,9 - 100,0 UNI 8911
CL140	VOC výpočty (gr/l) (100-Netěkavé látky %-Voda %) \times SG (měrná hmotnost) \times 10	0 - 1
CL143	Teoretická měrná spotřeba (m^2/kg)	662 – 689
CL141	Teoretické emise (gr/m^2) při tloušťce 1 μ	0
CL210	Obsah vody (%)	0,0 - 0,0
YC060	Distribuce částic o velikosti menší než 32 μ (%)	40 - 42
YC120	Distribuce částic o velikosti menší než 63 μ (%)	80 - 82
CC050	Lesk Referenční metoda	80,0 – 90,0 UNI 9389
CS010	Vrstva suchého povlaku (mikrony) Referenční metoda	50 - 70 UNI ISO 2178

INVERPUL PE-P-Q BIANCO RAL 1013, INVERPUL PE-P-Q BLEU RAL 5001, INVERPUL PE-P-E NERO RAL 9005

Specifikace

Teplem tvrditelný prášek obsahující polyesterové pryskyřice s vhodným vytvrzovacím prostředkem speciálně vybrané pro jejich mimořádnou odolnost proti UV záření a vnějším vlivům počasí. Prášek vytváří film s vyjímečnou odolností proti vnějším vlivům. Inverpul / Q byl vytvořen pro lakování hliníkových součástí používaných ve stavitelství a pro zinkované a galvanicky upravené oceli. Obsahuje bezolovnatá a bezchromová barviva.

Použití

Vzhledem k jeho speciálnímu složení má výrobek vynikající ochranné a dekorativní účinky. Je zejména navržen pro exteriérové použití.

Doporučená předúprava

Upravovaný povrch musí být očištěn od olejů, mastnot nebo rzi. Pokud je vyžadována částečná odolnost proti korozi nebo vlhkosti, doporučuje se následující předúprava povrchu: pro ocel: pískování nebo fosfátování železem či zinkem, pro galvanizovanou ocel a hliník: chromátování.

Doporučený postup nanášení

Nanášení automaticky nebo manuálními pistolemi se záporným nábojem (60/80 KV) nebo triboelektrickými pistolemi (pistolemi, kde elektrický náboj vzniká třením). Doporučuje se nanášet ve vrstvách o tloušťce 60–80 μ a vytvrzovat při teplotě 190°C na 15 minut. Pro vytvrzování povlaku z polyesterových pryskyřic je možné použít následující kombinace teploty a času:

- 7 - 11 minut x 200 °C
- 10 - 20 minut x 190 °C
- 15 - 25 minut x 180 °C
- 20 - 40 minut x 170 °C

Tab. 3.3 – Technické údaje nátěrových hmot INVERPUL PE-P-Q BIANCO RAL 1013, INVERPUL PE-P-Q BLEU RAL 5001, INVERPUL PE-P-E NERO RAL 9005

CL092	Specifická hmotnost (kg/l)	1,524 - 1,586
CL120	Obsah netěkavých látek (w/w) (%) 3 h při 105°C Referenční metoda	100,0 - 100,0 UNI EN ISO 3251
CL125	Obsah netěkavých látek (v/v) (%) Referenční metoda	100,0 - 100,0 UNI 8911
CL140	VOC výpočty (gr/l) (100-Netěkavé látky %-Voda %) \times SG (měrná hmotnost) \times 10	0
CL143	Teoretická měrná spotřeba (m^2/kg)	630 - 656
CL141	Teoretické emise (gr/m^2) při tloušťce 1 μ	0
CL210	Obsah vody (%)	0,0 - 0,0
YC060	Distribuce částic o velikosti menší než 32 μ (%)	40 - 42
YC120	Distribuce částic o velikosti menší než 63 μ (%)	80 - 82
CC050	Lesk Referenční metoda	80,0 - 89,0 UNI 9389
CS010	Mikrony Referenční metoda	60 - 70 UNI ISO 2178

4. STUDIE VZNIKU KOROZNÍCH VAD NA STROJNÍCH DÍLCÍCH UPRAVENÝCH NÁTĚRY PRÁŠKOVÝCH POVLAKŮ

4.1 Teoretický rozbor

Koroze

Koroze je samovolné porušování materiálů kovových či nekovových organických i anorganických vlivem chemické nebo elektrochemické reakce s prostředím. Koroze napadá nejen kovové materiály, ale například také plasty nebo pryže. Jedná se o znehodnocení, během kterého vznikají korozní zplodiny například ve formě rzi na kovech či nazelenalých povlaků u mědi. Důsledkem koroze je úbytek materiálu společně se změnou vlastností materiálu jako jsou pevnost, tažnost, změna struktury materiálu, vzhledu a vznik trhlin. Koroze má velký vliv na provozní spolehlivost, bezpečnost a ekonomická hlediska výroby.

Koroze kovů se nazývá oxidace. Jedná se o chemickou reakci kovů s plynem, který přechází po redukci s kovem do formy aniontu, nebo vyšší redukované formy. Oxidace se projevuje zvyšováním kladného mocenství kovu v prostředí kyslíkatých plynů (vzduch, vodní pára, oxid uhličitý), nebo v prostředí jiných plynů jako jsou dusík, halogeny, sirovodíky, z nichž následně vznikají sloučeniny jako sulfidy, či nitridy.

Koroze plastů není vizuálně shodná s korozí kovů, kde vzniká charakteristická rez, nýbrž jde o stárnutí, tvrdnutí a křehnutí plastu, který se tak znehodnocuje. Koroze plastů se dělí na stárnutí plastických hmot a degradaci plastických hmot. Stárnutí plastických hmot je souhrnem nevratných změn vlastností v daném okamžiku za daných podmínek v porovnání s vlastnostmi po výrobě. Ovlivňující faktory jsou fyzikální vlivy (UV záření, teplota, světlo, mechanické namáhání, radiace, atmosféra), fyzikálněchemické a chemické vlivy (difuze, destrukce chemickou reakcí, bobtnání), biochemické vlivy (plísně, biologická koroze účinkem mikroorganismů).

Koroze je významným činitelem ovlivňujícím ekonomickou stránku konstrukce a výroby součástí. Náklady na odstranění koroze dělíme na přímé a nepřímé. Přímé náklady jsou ty, jenž jsou vynaloženy na opravu zkorodované části konstrukce, nepřímé náklady vznikají prostoji stroje v souvislosti jeho nečinnosti během opravy koroze. Většinou jsou náklady nepřímé mnohem větší než přímé. Jen v České Republice způsobí koroze ročně škody za 25 miliard Kč.

Hodnocení koroze

Rychlost koroze

Rychlost koroze je základní faktor vyjadřující velikost koroze v závislosti na čase. Korozní rychlost se odvíjí od druhu korozního prostředí. Ve vodě je rychlost několikanásobně vyšší než v atmosféře. Dále také záleží na druhu materiálu, vlastnostech korozních zplodin (plynných, kapalných či tuhých). Jsou-li reakční produkty plynné nebo kapalné, probíhá koroze stále stejnou rychlostí a změna teploty má zanedbatelný vliv.

$$\frac{g}{m^2 \cdot den} \quad \frac{g}{m^2 \cdot rok}$$

Rychlost úbytku tloušťky při rovnoměrné korozi

$$\frac{mm}{rok}$$

Při rovnoměrné korozi lze materiál hodnotit dle následující tabulky

Tab. 4.1 – Hodnocení rychlosti koroze materiálů

Stupeň	Staré hodnocení	Rychlost koroze (mm/rok) pro skupiny materiálů			
		Skupina I	Skupina II	Skupina III	Skupina IV
00	zcela dobrý	0,0000	0,000	0,00	0,0
0	vhodný	0,0125	0,08	0,13	0,23
1	podmíněně vhodný	0,0125	0,08	0,13	0,23
2	pro krátkodobé použití	0,03	0,15	0,30	0,80
3	nepoužitelný	0,05	0,25	0,50	1,4

I – drahé kovy jako Au, Pt, Ag, tantal

II – drahé materiály, titan, molybden, zirkon, NiMo30Fe, NiFe22Cr22Mo, NiCr30Fe

III – středně nákladné: korozivzdorné oceli a litiny, bronz, Al, Cu, Pb, Sn, Zn a slitiny

IV – levné: nelegované a nízkolegované oceli, litá ocel, litina

Druhy koroze

Koroze se dělí dle typu napadání materiálu, dle dějů způsobujících korozi, nebo dle reakčního prostředí. Dělíme ji proto dle toho, zda napadá celou hmotu kovu, nebo jen porušuje jeho strukturu. Při napadání celé hmoty nezávisle na struktuře kovu se dále dělí dle rovnoměrnosti na rovnoměrnou, bodovou (nerovnoměrnou), štěrbinovou.

Koroze dle druhu napadání materiálu

Rovnoměrná koroze

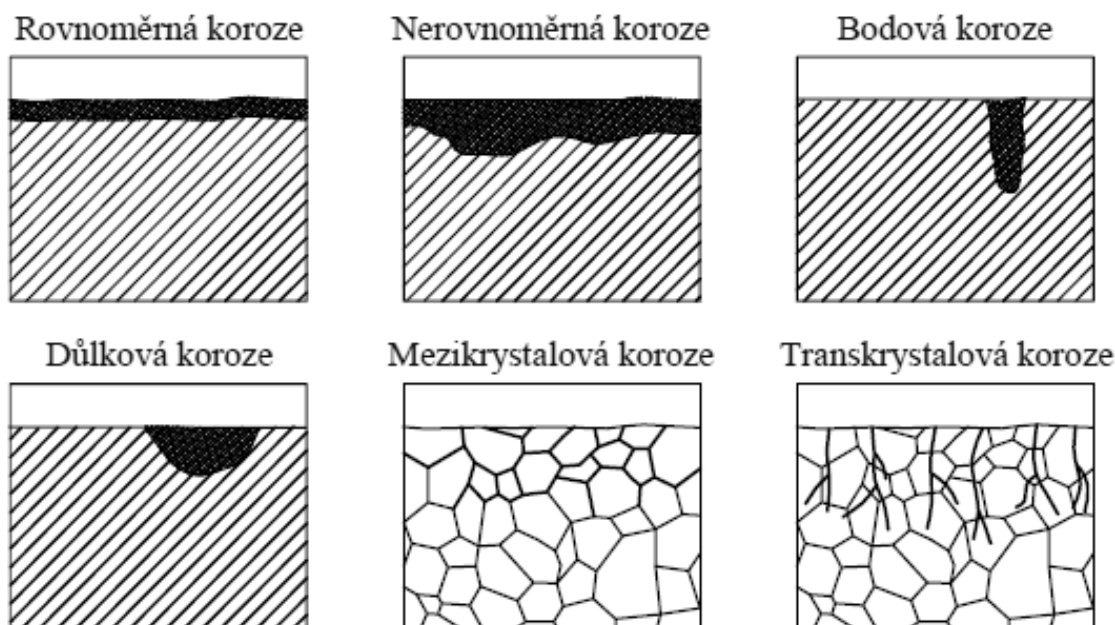
Rovnoměrná koroze se projevuje stejnoměrným rozložením po celém povrchu. Korozní reakce probíhá rovnoměrně. U tohoto druhu koroze lze relativně snadno vypočítat korozní rychlost, z níž lze poté určit i přibližnou životnost materiálu. Právě proto tato koroze nepředstavuje příliš velké riziko a je tak z hlediska spolehlivosti nejpříznivějším typem koroze.

Nerovnoměrná koroze

Nerovnoměrná koroze je charakteristická napadením pouze určité části povrchu, nebo vnitřku materiálu. Z tohoto důvodu se jedná o korozi nebezpečnou, jelikož nemusí být vždy viditelná.

Dělíme ji na tyto typy koroze:

- Důlková
- Bodová
- Mezikrystalová
- Transkrystalová
- Lamelární
- Selektivní



Obr. 4.1 – Dělení korozního napadení

Důlková koroze

Větší nebo menší důlky na povrchu, nejčastěji u pasivovaných materiálů v místech porušení pasivační vrstvy

Bodová koroze

Samostatné korozní body, přičemž zbytek materiálu nemá viditelné napadení. Nejčastější u pasivovaných materiálů. Bodová koroze je pro životnost materiálu a jeho spolehlivost mnohem více nebezpečná. U této koroze nelze určit přibližnou dobu životnosti materiálu. Při celkově malém úbytku materiálu může vést k rychlému poklesu životnosti výrobku. Podporují ji především prostředí obsahující chlór, bróm, jód nebo jejich soli. Ionty těchto prvků pronikají ochrannou vrstvou oxidů mnohem snadněji, a působí tak na malou plochu s mnohem větší rychlostí koroze, jež prostupuje do hloubky a může způsobit úplné proděravění a porušení materiálu.

Šterbinová koroze

Šterbinová koroze do značné míry souvisí s korozí bodovou. Probíhá v jemných kapilárách nebo v místech se špatným oběhem prostředí. Například u dvou špatně spojených plechů, mezi nimiž proudí korozní prostředí.

Mezikrystalová koroze

Jedná se o napadení rozhraní mezi krystaly při větší rychlosti koroze po hranách zrn, než je koroze vlastního zrna. Materiál takto ztrácí pevnost a může dojít až k jeho rozpadu. Je velmi nebezpečná, protože nemusí být vidět napadení z povrchu součásti. Časté u nerezavějících ocelí.

Transkrystalová koroze

Jde o současné napadení hranic zrn i vlastních zrn. Je velmi nebezpečná, protože nemusí být vidět napadení z povrchu součásti.

Lamelární koroze

Jedná se o postupné terasovité odleptávání materiálu.

Selektivní koroze

Preferenční napadení jedné nebo více fází slitiny tvořené různými strukturami.

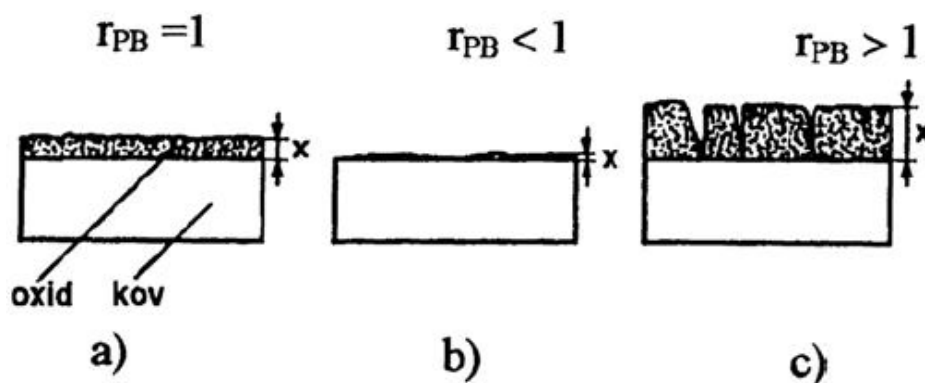
Dělení koroze dle druhu korozních dějů

Chemická koroze

Jedná se o chemickou reakci bez účasti elektrolytu a tedy bez vzniku elektrochemického článku. Korozní zplodiny zůstávají v místech reakce, řídí se zákony chemické kinetiky. Chemická koroze se projevuje v plynech, které mají oxidační nebo redukční povahu, ale také v bezvodých organických tekutinách. Pro korozi v oxidačních plynech je charakteristickým znakem vznik korozních produktů na povrchu materiálu. Rychlost koroze, a tedy i její další růst je poté dán vlastnostmi a zejména kvalitou vzniklých korozních zplodin. Korozní napadení je závislé na teplotě okolního prostředí. Zvyšuje-li se teplota, roste i korozní napadení. Nejčastějším případem je oxidace kyslíkem, oxidem uhličitým či oxidem siřičitým.

Náchylnost kovu k napadení v oxidačním prostředí lze hodnotit Pillingovým-Bedwordovým číslem (r_{PB}). Jedná se o podíl molárního objemu oxidu korozního produktu (V_0) a atomového objemu kovu (V_{Me}).

$$r_{PB} = \frac{V_0}{V_{Me}}$$



Obr. 4.2 – Tloušťka a charakter oxidové vrstvy v závislosti na hodnotě Pillingova-Bedwordova čísla [10]

Je-li hodnota $r_{PB} < 1$, má oxidová vrstva menší molární objem V_0 než je atomový objem korodujícího kovu. Vzniká pouze tenká a nesouvislá ochranná vrstva, která umožňuje vysokou rychlost oxidace materiálu.

Je-li hodnota $r_{PB} \geq 1$ je oxidová vrstva souvislá, dostatečně silná a má dobré ochranné vlastnosti.

Je-li poměr r_{PB} příliš vysoký, dochází k porušení celistvosti vrstvy s následným praskáním a odlupováním.

Koroze redukčními plyny nevytváří na povrchu materiálu žádné korozní zplodiny. Vzniká většinou difuzí redukujících plynů do kovu, kde poté reaguje s nekovovými složkami, které jsou obsaženy v příslušném materiálu.

Elektrochemická koroze

Vzniká při styku kovu s elektrolytem jako například roztoky kyselin, zásad, solí. Vzniká elektrochemický článek galvanický, nebo koncentrační. Korozní zplodiny i mimo působiště zůstávají v místech reakce.

Korozní reakce jsou dvojího druhu – anodická a katodická. U anodické reakce dochází k oxidaci kovu a tedy ke korozi. Při katodické reakci jsou v roztoku redukovány složky korozního prostředí spotřebováváním elektronů (vybíjením iontů vodíku nebo redukcí kyslíku rozpuštěného v elektrolytu). Obě reakce jsou na sebe vázány, uvolněné elektrony při anodické reakci jsou spotřebovány na katodickou reakci. Povrch kovu je nabit záporně a elektrolyt kladně. Na povrchu tedy vzniká určitý potenciální rozdíl. Velikost rozdílu má vliv na rozpuštění kovu do roztoku. Tuto velikost potenciálního rozdílu mezi kovem a elektrodou nejde přesně stanovit, proto je stanovena tzv. srovnávací vodíková elektroda. Nejmenší korozní odolnost mají kovy s nejvyšším záporným potenciálem. Naopak korozní odolnost stoupá se zvyšujícím se potenciálem. Srovnání s tímto standardním potenciálem ukazuje odolnost daného kovu proti korozi.

Tab. 4.2 – Korozní potenciály vybraných materiálů

[10]

Kov	Potenciál [V]	Kov	Potenciál [V]
Sodík	-2,71	Antimon	+0,20
Cín	-0,14	Chrom	-0,56
Hořčík	-1,55	Měď	+0,34
Olovo	-0,12	Železo	-0,44
Hliník	-1,33	Stříbro	+0,80
Vodík	0,00	Kadmium	-0,40
Zinek	-0,76	Rtuť	+0,86
Kobalt	-0,29	Zlato	+1,36

Hodnoty potenciálu platí pouze pro počátek koroze. Po určité době se zmenšuje potencionální rozdíl mezi anodou a katodou a dochází k polarizaci. Příčinou polarizace na katodě jsou vodíkové ionty, které pokrývají povrch katody, a brání tak přístupu dalších iontů. Polarizace na anodě je způsobena produkty rozkladu usazující se na anodě.

Ostatní typy koroze

Koroze, která není způsobena chemickými nebo elektrochemickými činiteli. Například biologická koroze účinkem mikroorganismů, kavitace.

Koroze v aktivním a pasivním stavu

Koroze v aktivním stavu

Koroze vzniká při přechodu iontů z materiálu do korozního prostředí. Na povrchu kovu vzniká vrstva korozních zplodin, přičemž se stále obnažuje povrch materiálu a dochází ke stálému přístupu korozního prostředí, což má za následek pokračování koroze. Jedná se například o korozi na oceli.

Koroze v pasivním stavu

U kovů jako je chrom, titan, nebo hliník se při překročení určité rychlosti reakce vytvoří na povrchu kovu tzv. pasivní vrstva. Ta natolik zpomalí korozní rychlost, že ji můžeme zanedbat. Takto vytvořená pasivní vrstva určuje celkovou odolnost kovu vůči rzi. U těchto kovů musíme určit, zda je pasivní vrstva při poškození schopna v daném korozním prostředí obnovy. Jestliže ne, vzniká nebezpečí bodové koroze.

Korozní prostředí

Jde o prostředí, ve kterém materiál koroduje. Nejčastěji bývají takto označována prostředí jako atmosféra, voda, vodné roztoky chemických látek. Korozní prostředí se neuplatňuje jen chemickým složením, ale záleží také na teplotě, tlaku a relativním pohybu vůči povrchu kovu. Čím vyšší bude teplota prostředí, tím vyšší je korozní rychlost. Nejvíce se vliv teploty projevuje v prostředí, jako je voda nebo atmosféra. Výjimku tvoří kyslík, který ale musí být jediným depolarizátorem, přičemž při zvyšování teploty klesá možnost koroze. Tlak v kapalném korozním prostředí se podílí na korozi mechanickým účinkem, a ovlivňuje tak strukturální napadení kovu. V

plynném prostředí se tlak podílí na korozi více, jelikož ovlivňuje rozpustnost plyných složek. Dalším častým činitelem, který se podílí na korozi, je pohyb korozního prostředí, díky čemuž dochází k urychlení transportních pochodů. Pohyb má v některých případech za následek urychlení přísunu látek, které vyvolávají pasivaci, čímž se zvyšuje odolnost vůči korozi.

Korozní agresivita atmosféry

Je schopnost atmosféry vyvolávat korozi v daném korozním systému. Agresivita je závislá na době ovlhčení, což je období, během kterého je povrch kovu pokryt absorpční nebo kapalnou vrstvou elektrolytu, který je schopen vyvolat atmosférickou korozi.

Korozní agresivita atmosféry se označuje pěti stupni:

- C1 velmi nízká agresivita – v trvale klimatizovaných místnostech, kde se nedosahuje rosného bodu. Předpokládaná doba ovlhčení je menší než 10 hodin za rok a zároveň je znečištění atmosféry menší než 10 mg na metr čtvereční za jeden den.
- C2 nízká agresivita – neklimatizované místnosti, kde je doba ovlhčení nižší než 100 hodin za rok. Znečištění je stejné jako v minulém případě.
- C3 střední agresivita – v uzavřených a nevytápěných prostorech. Doba ovlhčení je od 2000 do 5000 hodin za rok. Znečištění chloridem sodným je v rozmezí 10 - 100 mg na metr čtvereční za jeden den. Oxid siřičitý se pohybuje od 20 – 60 mg na metr čtvereční za jeden den.
- C4 vysoká agresivita – nejvíce rozšířený typ atmosféry v České republice. Jedná se o nepříliš znečištěné prostředí, ale s častými srážkami. Doba ovlhčení se pohybuje od 2000 – 8760 hodin za rok. Znečištění chloridem sodným je v rozmezí 100 - 1000 mg na metr čtvereční za jeden den a oxid siřičitý se pohybuje od 60 do 130 mg na metr čtvereční za jeden den.
- C5 velmi vysoká agresivita – v této atmosféře především působí mořské soli a průmyslové exhalace. Tato atmosféra je v blízkosti moří nebo ve znečištěných prostředích s výskytem chloridu sodného nad 1000 mg na metr čtvereční za jeden den a oxidu siřičitého nad 130 mg na metr čtvereční za jeden den. Doba ovlhčení se zde pohybuje od 3000 – 8760 hodin za rok

Protikorozní ochrana

Volba ochrany závisí na technickém a ekonomickém posouzení. Při volbě správné protikorozní ochrany máme několik možností:

- volba vhodného materiálu
- vhodné konstrukční úpravy
- úprava korozního prostředí
- použití kovových a nekovových povlaků
- elektrochemická ochrana

Vhodný konstrukční materiál

Pro volbu vhodného konstrukčního materiálu dané konstrukce je nutná znalost vlastností materiálu a prostředí, kterému budou vystaveny. Různé materiály za stejných podmínek korodují různě s různou rychlostí. Žádný materiál není schopen odolávat korozi za všech podmínek. Je nutné specifikovat použití materiálů dle oborů použití jako například pro potravinářství, farmacii, zdravotnictví, biotechnologie, strojírenství. K častým korozním vlivům patří například kontakt dvou materiálů, mechanické namáhání materiálu nebo konstrukční řešení materiálu. Zejména jsou nebezpečná spojení kovu s navlhavým materiálem (kontakt s těsnícím materiálem).

Vhodné konstrukční úpravy

Jsou často podceňovány a zanedbávány, i když jimi lze levně podstatně změnit korozní chování.

Úprava korozního prostředí

Pro úpravu korozního prostředí, které bude následně méně agresivní pro daný použitý materiál lze volit několik variant. Lze odstranit rozhodující agresivní složky z prostředí jako například odstranění O₂ odplyněním nebo chemicky, odstranění vlhkosti z plynů hygroskopickými látkami (silikagel), nebo použití inertní atmosféry (N₂, CO₂).

Použití inhibitoru koroze, které jsou negativními katalyzátory, tedy zvyšují aktivační energie děje. Principem působení je blokace aktivních míst povrchu (fyzikální inhibice). Použít lze oktadecylamin, formaldehyd, urotropin. Další variantou je vytvoření pasivační vrstvy (chemická inhibice) při použití křemičitanů, fosforečnanů, chromanů, dusitanů.

Inhibitory dělíme dle místa působení na anodické i a katodické.

Kovové a nekovové povlaky

Ne vždy je nutné používat pro konstrukci celého výrobního celku odolné proti korozi, jelikož to není někdy z ekonomických a konstrukčních důvodů účelné. Proto je následně nutné vytvoření povlaku odolného proti korozi

Kovové povlaky lze vytvářet antikorozním legováním, což je obohacení povrchové vrstvy legujícím prvkem, který ovlivňuje elektrochemickou reakci, případně bariérová ochrana, tedy oddělení korozního prostředí a chráněného materiálu (povlaky Ag, Cu, Ni, Pb, Sn, Cr). Další varianta je katodická ochrana, kdy povlak převeze roli anody, přičemž se chráněný materiál stane katodou (zinkování oceli).

Povlak povrchu lze vytvořit mechanicky plátováním, fyzikálně žárovým pokovováním, difúzním pokovováním, metalizací, vakuovým pokovováním, chemicky chemickým pokovováním, nebo elektrochemicky galvanickým pokovováním.

Plátování

Plátování je současné vyválnování základního materiálu s plátem ochranného kov. Nevýhodou je obtížné tvarování, přičemž okraje nejsou chráněny proti korozi

Žárové pokovování

Jedná se o protažení chráněného materiálu roztavenou lázní ochranného kovu (povlak = vzniklé intermetalické sloučeniny). Chráněný kov zůstává v tuhém stavu, proto lze používat pouze na snadno tavitelné kovy (Zn, Al slitiny Pb). Nevýhodou je obtížné svařování (různé teploty tavení)

Difúzní pokovování

Jde o difúzi povlakového kovu do základního materiálu (rozpuštění v základním kovu nebo reakce za vzniku intermetalických sloučenin). Difúzní povlaky jsou tvořeny z Zn, Al, Cr.

Metalizace (žárové stříkání kovů)

Metalizace je nástřik roztaveného ochranného kovu na základní materiál pomocí vrhacích pistolí.

Vakuové pokovování (napařování)

Jde o odpaření povlakového kovu a jeho následnou kondenzaci na chladnějším pokovovaném materiálu. Touto metodou je možno pokovovat i nekovové materiály (antireflexní vrstva MgF_2 na objektivěch, automobilových reflektorech)

Chemické pokovování

Vyloučení ochranného kovu na základním kovu chemicky (redukci iontů kovových solí). Touto metodou lze vylučovat téměř všechny kovy. Jedná se například o chemické niklování.

Galvanické pokovování

Je to elektrolytické vyloučení ochranného kovu na základním materiálu z vodných roztoků kovových solí

Anorganické nekovové povlaky

Konverzní povlaky – povlaky vytvořené pasivací materiálu za vzniku reakčních produktů základního materiálu odolných proti korozi. Je to přirozená a umělá pasivace. Příkladem je fosfátování, chromátování, černění oceli, eloxování hliníku

Smalty – vytvoření sklovité vrstvy na povrchu vypálením sklovité pasty. Základní a krycí vrstva (pro kompenzaci rozdílných vlastností kovu a smaltu)

Antikorozní nitridace oceli – povrchové sycení oceli dusíkem (NH_3) za vyšších teplot (cca 650°C), při kterém vznikají vrstvy nitridů odolných proti korozi

Vyzdívky a obklady – beton, cihly, kamenina, porcelán, šamot

Elektrochemická ochrana

Používá se v případě elektrochemické koroze. Principem je změna rychlosti koroze v důsledku změny elektrodové reakce. Lze používat dvě verze, katodickou, nebo anodickou ochranu.

Katodická ochrana

Principem je posun potenciálu k zápornější hodnotě tak, aby na chráněném kovu probíhala katodická reakce a ne korozi způsobující anodická (oxidační) reakce.

Anodická ochrana

Principem je vyvolání a udržení pasivního stavu. Jde o posun potenciálu materiálu do oblasti pasivity

Organické nekovové povlaky - nátěry

Nátěrové systémy jsou jedním z nejpoužívanějších druhů protikorozi ochrany používaných ve strojírenské výrobě. Náklady na následné úpravy povrchu pomocí nátěrů jsou často nižší než použití korozivzdorných materiálů, nebo dokonce není možné takové materiály ke konstrukci daného dílce použít. Dle kvalifikovaných odhadů jsou dnes nátěrové systémy používány na 90% strojírenských výrobků a ocelových konstrukcí pro ochranu proti vlivům korozních činitelů.

Nátěrové hmoty a systémy

[7]

Pojmem nátěrové hmoty se rozumí všechny hmoty, které jsou nanášeny v tekutém, těstovitém nebo práškovém stavu a vytvoří nátěrový film požadovaných definovatelných vlastností. Nátěrový systém zajišťuje mj. ochranu povrchu před oxidací. Nátěry zamezují přístupu vody a agresivních složek k povrchu chráněného podkladu - kovu. Nikdy však nejsou zcela bezpórovité. Proto antikorozivní pigmenty a inhibitory koroze zneškodňují agresivní složky, které difundují přes vrstvu nátěru ke kovu. Nátěr je hotový ucelený povlak jedné, nebo více vrstev zaschlé nátěrové hmoty na povrchu předmětu.

Složení protikorozních nátěrových hmot

Pro výrobu nátěrových hmot se používá celá řada surovin, velmi jednoduše lze rozdělit do těchto základních skupin:

- Filmotvorné látky (*pojiva, změkčovadla*),
- Pigmenty,
- Plniva,
- Barviva,
- Těkavé složky (*rozpouštědla, ředidla*),
- Ostatní přísady (*aditiva*).

Při volbě surovin je nutno brát zřetel na ekologii – nelze již užívat antikorozní pigmenty na bázi olova, popř. chrómu. Druhým významným ekologickým požadavkem je minimalizace organických rozpouštědel (VOC látky)

Filmotvorné složky (pojiva) jsou netěkavé látky mající schopnost vytvořit tenkou souvislou vrstvu a vázat dispergované částice pigmentu a plniv v zaschnutém filmu. Různá pojiva se od sebe liší různým chemickým složením a fyzikálními vlastnostmi. Požadované vlastnosti nátěru se často dosahují kombinací různých

filmotvorných látek, aby bylo dosaženo požadované přilnavosti, pružnosti, tvrdosti, apod.

Nejčastějšími filmotvornými látkami jsou:

- přírodní, resp. umělé živice (epoxidy, kalafuna, ...),
- deriváty celulózy,
- vysychavé oleje (lněný, konopný, ...).

Další složkou nátěrových hmot jsou těkavé složky (rozpouštědla, ředidla), které se používají k rozpouštění pojiv při výrobě nátěrových hmot a na úpravu její viskozity v procesu aplikace. Rozpouštědla převádí tuky, oleje, vosky, aj. do kapalného stavu. Rozpouštědla jsou organické sloučeniny a jsou nedílnou součástí všech nátěrových hmot. Ke snižování viskozity nátěrové hmoty se používají ředidla. Ředidla jsou směsí rozpouštědel.

Pigmenty jsou organické či anorganické částičky nátěrové hmoty, které jsou rozptýleny v pojivu a dávají nátěrům barevný odstín, krycí schopnost, tvrdost, snižují stárnutí nátěrů a zvyšují jeho korozní a tepelnou odolnost.

Plnidla jsou jemně rozemleté minerální látky (těživec, mastek, křída), které jsou nerozpustné v pojivech. Vhodně upravují technologické vlastnosti nátěrového povlaku.

Aditiva (sušidla, emulgátory, stabilizátory) jsou složkou nátěrových hmot obsahující vysychavé oleje. Používají se při výrobě fermeží olejových a glyptalových nátěrových hmot. Základní účinnou složkou jsou kovová mýdla. Základní funkcí aditiv je zabránění pění nátěrové hmoty, omezit usazování pigmentů, zajistit dobrý rozliv nátěrové hmoty, apod.

Pojiva a změkčovadla tvoří podstatnou část nátěrových hmot, jejichž základní funkce spočívá v umožnění tvorby nátěrového filmu. Charakter filmotvorné látky má vliv na tak důležité vlastnosti nátěrového filmu, jako je především vlastní odolnost, ale také lesk, pružnost, přilnavost ohebnost a tvrdost. Pojivo společně s těkavými složkami tvoří nejčastěji roztok, tzv. základní lak, který by bez přidání pigmentů vytvořil průhledný transparentní nátěrový film.

Přírodní pryskyřice byly v minulosti pojivovou složkou nátěrových hmot společně s rostlinnými oleji. V současné době mají přírodní suroviny v nezměněné formě jen minimální specifické použití, jako například pro retušovací laky apod. V chemicky upravené formě mají z přírodních surovin význam ještě kalafuna, rostlinné oleje a také celulóza ve formě svých derivátů.

Rozdělení protikorozních nátěrových hmot

Dle použití se nátěrové hmoty dělí na:

- vnitřní – užití v interiéru,
- venkovní – odolávají povětrnostním podmínkám,
- speciální.

Dle charakteristických vlastností se nátěrové hmoty dělí na:

- transparentní – tvoří zpravidla průsvitný nátěr,
- pigmentované – tvoří neprůhledný nátěr.

Dle pořadí nanášení se nátěrové hmoty dělí na:

- základní – první aplikovaný nátěr na nenatřený podklad, nebo první vrstva obnovovacího nátěru,
- vyrovnávací – nátěrové hmoty určené k vyrovnávání nerovnosti povrchu,
- podkladové – nátěrové hmoty používané jako mezivrstva mezi základním a vrchním nátěrem,
- vrchní – poslední vrstva nátěrového systému, chrání všechny vrstvy nátěrového systému.

Dle tvorby nátěrového filmu se dělí na:

- zasychající chemickými pochody – nátěrový film se vytváří chemickou reakcí složek obsažených v nátěrové hmotě, zde patří např. epoxidové, polyuretanové nátěrové hmoty,
- zasychající fyzikálními pochody – nátěrový film se vytváří odpařováním rozpouštědel, zde patří např., vinylové, akrylátové nebo vodou ředitelné nátěrové hmoty,
- zasychající fyzikálněchemickými pochody – kombinace chemických a fyzikálních pochodů.

Dle podmínek zasychání se nátěrové hmoty dělí na:

- schnoucí na vzduchu,
- hmoty vhodné k přisoušení,
- vypalovací,
- vytvrzované zářením,
- tavné.

Nátěry s vysokou životností

Nátěry resp. nátěrové hmoty s vysokou životností v prostředí s vysokým st. korozní agresivity s označením C4 poskytují ochranu výrobků proti korozi a zároveň vyšší míru jistoty a bezpečnosti.

Od těchto nátěrových systémů je požadováno, aby před expozicí v urychlených zkouškách byla adheze nátěru, hodnocená podle ISO 4624, vyšší než 5 MPa. Po expozici nesmí nátěr vykazovat puchýřky, prorezavění, trhlinky ani odlupování. Adheze musí být vyšší než 5 MPa.

Někteří výrobci nátěrových hmot tak nejsou schopni těmto požadavkům vyhovět, bez ohledu na to, jaká je tloušťka povlaku a počet vrstev. Kvalitní produkty některých firem však limity normy překračují.

Aplikace nátěrových hmot

Oblast využití nátěrových systémů je dána:

- typem konstrukce,
- typem povrchu a jeho přípravou,
- typem prostředí,
- typem ochranného nátěrového systému,
- způsobem provedení,
- životností ochranného nátěrového systému.

Životnost a jakost nátěrového systému je ovlivňována vedle zvolené nátěrové hmoty i použitou technologií nanášení. Při volbě nejvhodnější technologie nanášení je nutné zvažovat především ekonomickou stránku, která je ovlivňována:

- požadavky na kvalitu nátěru a vlastnosti (vzhled nátěru, stupeň korozního

namáhání a s tím související počet vrstev a celková tloušťka nátěru),

- vlastnosti zvolené nátěrové hmoty (rychlost zasychání, množství rozpouštědel, technologické vlastnosti, ekologické problémy apod.),
- velikostí, tvarem a množstvím upravovaných předmětů,
- produktivitou práce u jednotlivých technologií.

Samotná aplikace nátěrových hmot se provádí dle technických listů příslušné nátěrové hmoty. Ty většinou navazují na proces přípravy povrchu.

Samotné nanášení nátěrové hmoty může probíhat:

- ponorem,
- nástřikem,
- ručně (štětcem),
- speciální nanášecí metodou.

Nátěrové hmoty a ostatní používané látky (ředidla, rozpouštědla) musí být skladovány v bezpečných prostorách dle bezpečnostních předpisů.

Při zhotovování nátěrů musí být povrchy, které mají být natírány bezpečně přístupné a dobře osvětlené.

Základní nátěr musí překrýt drsnost povrchu podkladu. Každý nátěr musí být nanášen rovnoměrně a tak, aby nedošlo k výskytu nenatřených ploch. Na všech plochách, které jsou obtížně přístupné, např. hrany, kouty, svary, šroubované spoje, musí být nátěry provedeny se zvláštní péčí. Pro zvýšení ochrany hran a svarů se provádí pásový nátěr na obě strany hrany svaru.

Aby byla dosažena předepsaná tloušťka suchého filmu, musí být v průběhu aplikace prováděno pravidelné hodnocení mokré tloušťky filmu.

Musí být dodržován časový interval mezi nanášením jednotlivých vrstev nátěrů a mezi nanášením posledního nátěru a expozicí do prostředí, které jsou dány technickými podmínkami výrobce, nebo jsou uvedeny ve specifikaci.

Defekty v jednotlivých vrstvách nátěru musí být opraveny před nanášením další vrstvy nátěru, neboť mohou vést ke snížení ochranné účinnosti zajišťované povlakem.

Teplota pro aplikaci nátěrů je dána technickými podmínkami výrobce.

Nanášení nátěrové hmoty ručně – štětcem, popř. válečkem

- Výhodou je její jednoduchost, nevýhodou však nízká produktivita,
- pro svou nenáročnost je často používanou metodou nanášení nátěru, zejména pak při opravách nátěrů,
- minimální ztráty při nanášení,
- před aplikací je nutné správné připravení nátěrové hmoty (viskozita),
- na větších plochách je lépe štětec nahradit válečkem.

Nanášení nátěrové hmoty máčením

- Jednoduchá a relativně produktivní metoda,
- máčí se ve speciálních vanách, důležité je zachovat stejnou rychlost vynořování předmětu z lázně.

Nanášení nátěrové hmoty stříkáním – pneumatickým stříkáním

- Nejvíce rozšířená a nejvíce produktivní metoda,
- lze užít ruční, nebo automatizované stříkání ve stříkacích kabinách,
- nátěrová hmota prochází stříkací pistolí, kterou je vrhána na povrch, resp. nátěrová hmota je strhávána stlačeným vzduchem a vrhána na povrch.

Nanášení nátěrové hmoty navalováním

- Metoda používaná pro nanášení nátěrové hmoty na rovinné plochy,
- navalování probíhá navalovacím zařízením, které se skládá z několika kovových, nebo pryžových válců (min. tři).

Nanášení nátěrové hmoty elektrostatickým stříkáním

- Je to metoda nanášení nátěrové hmoty v poli vysokého napětí,
- princip: elektricky nabitě částice putují ze stříkací pistole k nanášenému povrchu s opačnou polaritou. Na něm se usazují a vytváří souvislou vrstvu,
- nátěrová hmota musí mít vyhovující elektrické vlastnosti,
- vysoká produktivita práce, vyšší pořizovací náklady.

Experimentální zkoušky povrchů a povlaků

Pro hodnocení kvality aplikovaného ochranného antikorozního nátěrového systému jsou doporučeny zkoušky dle příslušných norem. Jedná se zejména o hodnocení přilnavosti povlaků k podkladovému základnímu materiálu, stanovení odolnosti povlaků vůči koroznímu prostředí, vodě, vlhkosti, podkorodování, vzniku puchýřků a měření tloušťek povlakových systémů.

Důležité normy:

ČSN 67 3103	Vyhodnocování zkoušek nátěrů. Subjektivní hodnocení zašpinění omyvatelnosti, sprašování, vrásnění a bělení.
ČSN 67 3104	Vyhodnocování zkoušek nátěrů. Vyhodnocování praskání a odlupování nátěrů.
ČSN 67 3106	Laboratorní zkoušky ochranné účinnosti nátěrů na kovech. Zkouška na odolnost podkorodování nitkovou korozi.
ČSN EN ISO 4623-1,2	Nátěrové hmoty - Stanovení odolnosti proti nitkové korozi
-	Část 1: Ocelové podklady. Část 2: Hliníkové podklady.
ČSN EN ISO 6270	Nátěrové hmoty - Stanovení odolnosti vlhkosti.
ČSN EN ISO 1518	Nátěrové hmoty - Zkouška vrypem.
ČSN EN ISO 15710	Nátěrové hmoty - Korozní zkoušky střídavým ponorem v pufrovaném roztoku chloridu sodného.
ČSN ISO 19840	Nátěrové hmoty - Ochrana ocelových konstrukcí proti korozi nátěrovými systémy - měření a kritéria přejímky tloušťky suchého filmu na drsném povrchu.

Záznamy měření se zpracovávají do protokolů. Počet kontrolních ploch je dán velikostí plochy natírané konstrukce.

Nejjednodušší a prvotní kontrolou jakosti nátěrového povlaku je vizuální kontrola při které se hodnotí vizuálně rovnoměrnost, barva, kryvost, defekty, vrásnění, kráterky, puchýřky, nenatřená místa, odlupování, trhlinky, stékání.

Úprava povrchu před aplikací nátěrového systému

Povrch materiálu musí být zbaven vlhkosti, všech nečistot a zplodin, které by zhoršily jakost celkové povrchové úpravy. Jedná se tedy mj. o odstranění oxidických produktů z povrchu materiálu mechanickou cestou (otryskávání, broušení, kartáčování), nebo chemickou cestou (odmašťováním, mořením). Další předúpravou povrchu mohou být aplikace ochranných vrstev jakými jsou fosfátování nebo žárové stříkání. Špatně provedená úprava se většinou neprojeví ihned po dokončení nátěrového systému, ale až po čase.

Úpravy povrchu

Mechanické úpravy povrchu

Mezi mechanické úpravy patří otryskávání, omílání, broušení, kartáčování, leštění.

Chemické úpravy povrchu

Mezi chemické úpravy patří odmašťování v alkalických roztocích, v organických rozpouštědlech, elektrolytické odmašťování, odmašťování v neutrálních roztocích, emulzní odmašťování, opalování, vysokotlaké kapalinné odmašťování.

Důsledky špatně provedené úpravy povrchu

Důsledkem je většinou porušení celistvosti, přilnavosti povlaku a následné znehodnocení povlaku i povrchu materiálu.

Hodnocení provedené úpravy povrchu

Hodnotí se jakost a čistota povrchu základního materiálu, jeho tvar a stupeň drsnosti, antikorozi vlastnosti základního materiálu. Mírně zdrsňený povrch má lepší kotvení a přilnavost nátěru než povrch vysoce hlazený, nebo leštěný.

5. STUDIE VZNIKU KOROZNÍCH VAD NA DÍLCÍCH LESNÍCH A STAVEBNÍCH STROJŮ OPATŘENÝCH PRÁŠKOVÝMI POVLAKY

Práškové barvy se vyznačují výbornou přilnavostí a chemickou a korozní odolností. Polyesterové práškové barvy jsou rovněž velmi ekonomické a vhodné pro venkovní použití svojí barevnou stálostí. Epoxidové barvy podléhají vlivem UV-záření typickému zkřídovatění, a proto se hodí lépe pro vnitřní použití.

Přilnavost práškových barev na povrch stříkaného substrátu závisí především na použitém základním materiálu, drsnosti jeho povrchu a stavu předpravy povrchu před vlastním procesem nanášení nátěru.

Výskyt korozních vad na dílcích upravených nátěry práškových povlaků do velké míry souvisí s kvalitou nanesení práškové barvy společně s jejím vypálením. Velká řada následných korozních vad má totiž původ právě ve vadách práškového povlaku, který není schopen dostatečně chránit kovový substrát proti vlivům korozního prostředí. Velký vliv má však již samotná konstrukce povlakovaných dílců. Ne vždy je díky složitosti konstrukce možné povrchově upravit veškeré plochy kovového substrátu pomocí nátěrů práškových povlaků. Právě místa, která nemohou být dostatečně ošetřena jsou poté zdrojem vzniku korozních vad.

5.1 Příčiny vzniku korozních vad

Koroze a její výskyt jsou závislé na mnohých činitelích, přičemž vždy záleží především na daném použití zkoumaných dílců, společně s jejich povrchovou úpravou a umístění v dané korozní atmosféře. Pro účely této diplomové práce jsou uvažovány příčiny korozních vad způsobených na dílcích upravených práškovými povlaky na substrátu předupraveném tryskáním. Dílce jsou určeny pro konstrukce lesních a stavebních strojů pro náročné využití, které jsou často vystavovány nepříznivým atmosférickým podmínkám a hrubému zacházení.

Možné příčiny vzniku korozních vad u strojních dílců stavebních strojů upravených práškovými povlaky a možnosti jejich odstranění jsou uvedeny v Tab. 5.1

Tab.5.1 – Příčiny a řešení vzniku vad u nátěrových práškových povlaků

Příčiny korozních vad vznikajících na základě vad práškových povlaků	
Vada	Příčiny a řešení
Krátery v povlaku	Možnými příčinami je nevyhovující příprava povrchu substrátu se zbytky nečistot chemického i fyzikálního rázu. Tyto vady lze odstranit důkladnou kontrolou jakosti přípravy povrchu.
Póry a puchýře v povlaku	Možnými příčinami jsou zbytky korozních zplodin na povrchu substrátu, příliš vysoká tloušťka povlaku, vysoká vlhkost prášku, vysoký obsah plynů v substrátu, či jeho navodíkování. Tyto vady lze odstranit důkladnou kontrolou jakosti přípravy povrchu, dodržováním doporučených skladovacích podmínek a tloušťky povlaku.
Nečistoty v povlaku	Možnými příčinami jsou kovové piliny a nečistoty, které mohou oxidovat, případně nečistoty, které se z povlaku časem uvolní a vytvoří prostor pro přístup korozních činitelů k substrátu. Řešením je důkladná kontrola a čištění povrchu substrátu povlakovaných dílců před nástřikem spolu s čištěním stříkací komory.
Špatná mechanická a chemická odolnost povlaku	Možnou příčinou je nevhodná teplota vypalování, nebo krátká doba vytvrzování, velká tloušťka povlaku, nedostatečná předúprava povrchu, nevhodný typ prášku, nebo velká tloušťka stěn dílců. Řešením je úprava technologických podmínek vytvrzování, zlepšení jakosti předúpravy, úprava podmínek nanášení.
Kolísání tloušťky povlaku	Možnou příčinou jsou nevhodné nanášecí parametry jako špatné uzemnění dílů, nestejnoměrná dodávka prášku, neoptimální vzdálenost nanášení, kolísání proudu, nevhodná konstrukce dílu. Řešením je úprava nanášecích parametrů nebo konstrukce dílů.
Slabší pokrytí v dutinách a na hranách i když je poloha pistolí dobře nastavená	Možnou příčinou jsou nevhodné nanášecí parametry jako vysoké nanášecí napětí, nedokonalé uzemnění, nevhodný tlak a množství dopravního vzduchu, nebo nevhodná konstrukce dílů. Řešením je úprava nanášecích parametrů, snížení napětí, použití vhodnějších trysek pistole, nebo speciálních programovatelných pistolí, či změna konstrukce dílců.

Příčiny korozních vad vznikajících na základě jiných vlivů	
Vada	Příčiny a řešení
Vznik korozních zplodin vlivem působení okolního prostředí	Možnými příčinami jsou přírodní vlivy jako kyselý déšť, vysoká vlhkost, kondenzace vlhkosti, sluneční záření, změny UV záření, agresivní prostředí, změny teplot, emise průmyslové a automobilní, ovzduší obsahující sole a slaný postřik v přímoří. Řešením je uskladňování dílců v prostředí bez těchto vlivů, což však není vždy možné zajistit. Jediným možným řešením tak zůstává kvalitní povrchová úprava substrátu zabráňující jeho znehodnocení.
Vznik korozních zplodin chemickým, či mechanickým poškozením	Možnými příčinami je prach, oděr vrstvy povlaku mechanickým působením, vysokotlaký postřik, vandalismus, chemické znečištění napadající povrchovou úpravu, nedostatečná údržba, vliv rostlin a živočichů, plísní, bakterií a mikroorganismů. V tomto případě je řešením pouze uskladňování a používání dílů způsobem, který neohrožuje znehodnocení nátěrového povlaku.

5.2 Nalezené korozní vady zkoumaných dílců

Zkoumané korozní vady na stavebních a lesních strojích firmy Loader Novotný byly dříve pozorovány na částech dílců ošetřených práškovým povlakem, i na dílech povlakem neopatřených. Vady v práškovém povlaku a místech vhodných pro vznik koroze byly řešením mé bakalářské práce na téma Povrchová úprava kovu před aplikací práškových povlaků, díky jejímž závěrům byla možnost vady v povlacích odstranit.

V současné době však stále přetrvává výskyt korozních vad způsobených nedostatečným ošetřením ploch kovového substrátu, na které není možné použít práškového povlaku díky konstrukci výrobků. Jedná se především o vnitřní prostory konstrukce, kde není možné vhodným způsobem provést povrchovou úpravu pomocí práškových povlaků v nanášecí stříkací komoře.

Pro optimální řešení zabránění vzniku korozních zplodin ve kterékoli části kompletní konstrukce by bylo ideální zaměnit kovový substrát za materiál odolný proti korozi, změnu konstrukce, či používání takzvané mokré metody nanášení ochranných nátěrových povlaků máčením. Vzhledem k ekonomické náročnosti a již dlouhodobě

zaběhlému systému výroby v dané firmě však ani jedno toto hledisko nelze úspěšně aplikovat.

Právě proto se tato diplomová práce snaží najít ekonomicky výhodné řešení zabránění vzniku viditelných korozních vad na typických místech jejich výskytu uvedených dále.

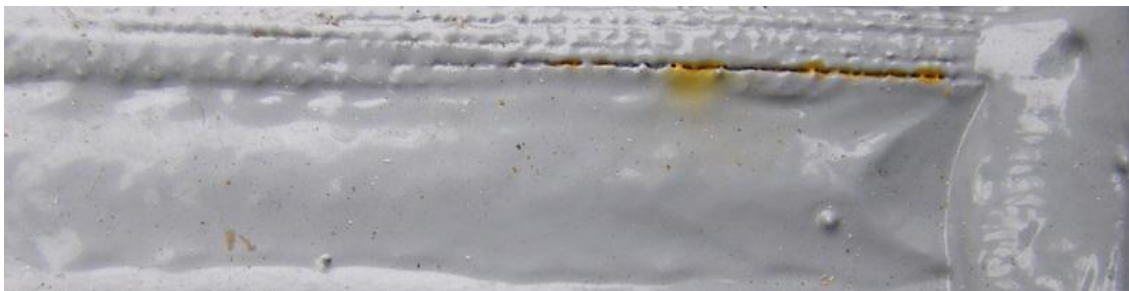
Opticky sledovatelné korozní vady nevznikající mechanickým opotřebením na konstrukcích lesních a stavebních strojů firmy Loader Novotný jsou výhradně důsledkem oxidace neošetřených ploch vnitřních částí konstrukce. Nejčastější výskyt těchto vad pak lze sledovat především mezi svary konstrukce, kde neutěsněný prostor dovoluje vytékání koroze na vnější plochy konstrukce.



Obr. 5.2.1 – Viditelná koroze v místech mezi svary konstrukce



Obr. 5.2.2 – Bližší pohled na korozi způsobenou vytékáním oxidačních produktů po vnitřní neošetřené ploše konstrukce



Obr. 5.2.3 – Rozvíjející se koroze v hranové spáře konstrukce



Obr. 5.2.4 – Vytékající koroze vzniklá kondenzací na vnitřních neošetřených plochách

6. NÁVRH METODIKY EXPERIMENTÁLNÍCH PRACÍ

Stanovení tloušťky suchého laku - EN ISO 2808

Digitální tloušťkoměr ELCOMETER 456 Basic

Stanovení drsnosti zkoušených povrchů – PN-ISO 3274: 1996

Drsnoměr MITUTOYO Surftest SJ - 301

Korozní zkouška solnou mlhou – ASTM B117, ČSN ISO 9227

Korozní komora Liebisch S 400 M-TR

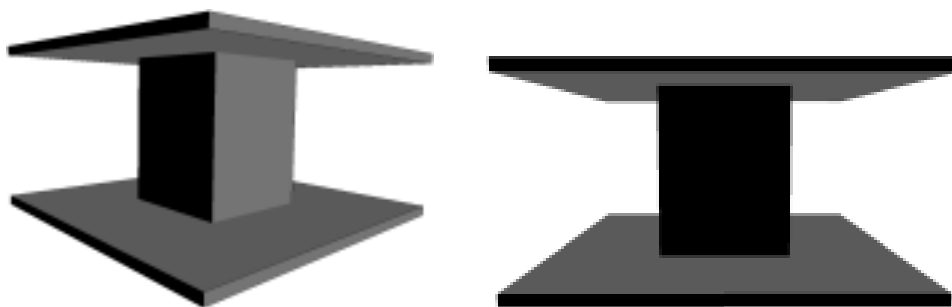
7. EXPERIMENTÁLNÍ ZKOUŠKY A JEJICH VYHODNOCENÍ

7.1 Charakteristika vzorků

Vzorky jsou svařeny do I profilu ze dvou plechů tloušťky 3 mm, mezi něž je vložen dutý čtvercový, či obdélníkový jackel profil délky 60 mm s tloušťkou stěny 4 mm. První varianta vzorků je složena z plechů rozměrů 120 x 120 mm a čtvercového jackel profilu rozměru 50 x 50 mm. Druhá varianta vzorků je svařena z plechů rozměru 100 x 100 mm a obdélníkového jackel profilu 40 x 50 mm.

Materiál: ocelový plech tloušťky 3 mm, jackel profil s tloušťkou stěny 4 mm, materiál 11 523, 11 375

Technologie výroby vzorků: stříhání, vrtání, svařování



Obr. 7.1 – Náčrty vzorků

7.1.1 Povrchová úprava zkušebních vzorků

U zkušebních vzorků bylo pro možnosti zkoušek použito nátěru Henotherm od firmy Henelit, jímž byly pomocí mokré metody klasickým nátěrem štětcem zality koutové spáry svařenců vzorků. Henotherm je rychleschnoucí nátěr odolný teplotě 600°C používaný pro kotlové a průmyslové součásti zatěžované vysokými teplotami.

Příprava povrchu materiálu pro nátěr Henotherm

Dobře očistit a odmastit. Korozi mechanicky odstranit (minimální požadavek dle EN ISO 12944 - díl 4: Sa 2 1/2) k docílení optimální ochrany.

Způsoby aplikace nátěru Henotherm

Velké plochy stříkáním, menší plochy a dokončovací operace nanášení štětcem.

Tab. 7.1 – Technická data nátěrového systému Henotherm

Složení:	Kombinace silikonové pryskyřice odolné vysokým teplotám, termostabilní pigmenty
Odstín:	Černý matný, fialově modrý, bílý hliník, jiné odstíny od 600kg
Tepelná odolnost:	Fialově modrá do 240°C, černá matná do 500°C, bílý hliník do 600°C
Stupeň lesku:	Mat a hedvábný mat
Viskozita:	Nízkoviskózní (18-25“ DIN 53211 4 mm 20°C), má tixotropní char.
Hustota:	1,05 - 1,17 g/cm ³ dle odstínu
Objem sušiny:	15-28% dle odstínu
Teoretická vydatnost:	9-13 m ² /kg při 20 mm suchého nátěru

7.2 Korozní zkouška solnou mlhou

Popis metody

Korozní zkoušky v umělých atmosférách

Zkoušky jsou prováděny ve vzdušném prostředí za působení činitelů urychlujících korozi kovových materiálů a jejich slitin s nebo bez povrchových úprav. Urychlování korozních procesů lze dosáhnout úpravou teploty, relativní vlhkosti, kondenzace vlhkosti, zvýšením koncentrace korozně působících složek ve zkušebních korozních komorách.

Nejvíce používaným typem korozních zkoušek je zkouška solnou mlhou prováděna při 100% relativní vlhkosti a teplotě $35\pm 2^{\circ}\text{C}$. Provádí se rozprašováním definovaného solného roztoku pomocí trysek. Zkouška solnou mlhou může probíhat v neutrální solné mlze (NSS), kyselé solné mlze (AASS), nebo v solné mlze s ionty mědi (CAAS).

Korozní zkouška v neutrální solné mlze (NSS)

Používá se pro kovy a slitiny, kovové či konverzní povlaky, povlaky vytvořené anodickou oxidací, či organické povlaky na kovovém substrátu. Zkušební roztok je zásaditý s pH v rozmezí 6,5-7,2, složen z demineralizované vody s 5% NaCl (chloridu sodného).

Korozní zkouška v kyselé solné mlze (AASS)

Použití pro dekorativní povlaky z složené z mědi, niklu a chromu, chromu a niklu, případně pro eloxované povlaky. Zkušební roztok je kyselý s pH mezi 3,0 – 3,1 složen z demineralizované vody s 5% NaCl (chloridu sodného) a ledové kyseliny octové.

Korozní zkouška v solné mlze s ionty mědi (CAAS)

Podobná zkouška jako v kyselé solné mlze. Použití pro dekorativní povlaky z složené z mědi, niklu a chromu, chromu a niklu, případně pro eloxované povlaky. Zkušební roztok je kyselý s pH mezi 3,1 – 3,2 složen z demineralizované vody s 5% NaCl (chloridu sodného) a 0,26g/l chloridu měďnatého (CuCl_2)

Korozní komora Liebisch S 400 M-TR

[4]

Korozní komora od firmy Liebisch zabývající se problematikou korozních zkoušek již více než 40 let. Komora truhlového typu určena pro zkoušky solnou mlhou s automatickým programátorem pro tvorbu cyklických korozních zkoušek. Korozní komora je vyrobena z vysoce odolného laminátu odolného všem korozním vlivům. Drobné komponenty vyrobeny z plastu, nebo nerez oceli.



Obr. 7.2 – Korozní komora Liebisch S 400 M-TR

Tab. 7.2.1 - Technická specifikace korozní komory Liebisch S 400 M-TR

[5]

Vnější rozměry (šxvxh) [mm]	2000 x 900 x 1178
Hmotnost	300 kg
Objem testovací plochy	400 litrů
Vnitřní rozměry (šxvxh) [mm]	920/811 x 590/570 x 660/650
Maximální hmotnost vzorků	60 kg
Maximální nosnost držáků	15 kg
Nastavování teploty	PLC
Maximální teplota	70°C
Maximální testovací teplota	50°C
Napájení	230 V/1 N/50 Hz/8 A
Maximální příkon	1500 W
Objem zásobního testovacího roztoku	75 litrů
Průměrná spotřeba testovacího roztoku	0,4 – 0,8 litrů/hod
Průměrná spotřeba vody	80 – 120 ml/hod
Průměrná spotřeba tlakového vzduchu	2,5m ³ /hod
Doporučený tlak vzduchu	Min. 3,0 bar, Max. 4.0 bar

Postup zkoušky

Zkušební vzorky byly do korozní komory umístěny ve dvou etapách pro získání lepšího přehledu o vzniku korozních zplodin na daných konstrukčních dílech. V obou etapách byly vzorky opatřeny kompletní povrchovou úpravou práškovým lakováním ve dvouvrstevném základním a vrchním systému. Pro odlišení byl použit jiný odstín barvy.

V první etapě byly do komory osazeny vzorky ve stávající povrchové a konstrukční úpravě pro otestování doby nutné ke vzniku koroze a jejího prostupu na vnější plochy dílců. Tyto vzorky byly v korozní komoře vystaveny koroznímu prostředí v solné mlze po dobu expozice 480 hodin. Vzorky byly do komory umístěny v počtu dvou kusů ve vodorovném směru a jednom kusu ve směru svislém.

Ve druhé etapě byly do korozní komory umístěny vzorky s upravenou povrchovou a konstrukční úpravou, které měly ověřit jejich vhodnost pro další využití v praxi a zabránění vzniku korozních produktů na konstrukcích v reálném prostředí. Vzorky byly do komory umístěny ve vodorovném směru, který se dle předchozích výsledků zkoušek první etapy ukázaly jako výhodnější z hlediska větší plochy pro prostup korozních zplodin na povrch. Vzorky byly provedeny ve třech provedeních, která měla ověřit nejvhodnější úpravu pro zabránění vzniku koroze.

První variantou bylo kompletní zavaření spojů vzorků simulující zcela uzavřenou konstrukci. Toto provedení je v reálné konstrukci strojů neproveditelné z hlediska velkého kroucení materiálů vlivem tepelného ovlivnění svařovaných oblastí. Pro účely korozní zkoušky však tato varianta byla velmi přínosnou, jelikož díky ní lze odhalit případnou vnitřní vlhkost konstrukce, která může nepříznivě ovlivňovat její pevnost v dlouhodobém rozsahu. Tyto vzorky byly zároveň opatřeny zkušebními vrypy procházejícími přes volnou plochu, které měly ověřit podkorodování nátěru.

Druhou variantou vzorku byly podbroušené hrany dutého jackelového profilu pod 45°. Tato varianta simulovala zhoršené podmínky pro nanášení práškového povlaku ve stříkací komoře, která dokáže hůře nanášet prášek do zákoutí.

Třetí variantou bylo zalití spár mezi svary takzvanou mokrou metodou, tedy nátěrem na tekuté bázi. To bylo provedeno nátěrem štětcem pouze v oblasti koutových spár konstrukce. Díky zalití spár a následnému otryskání barvy po jejím zaschnutí zůstaly spáry uzavřené, přičemž byly vytvořeny vhodné podmínky pro nanášení práškového povlaku na čistý kovový povrch zbytku konstrukce. Právě od této varianty byly očekávány nejlepší výsledky pro reálné využití protikorozní ochrany v praxi.

Zkušební vzorky byly podstoupeny cyklické zkoušce v korozní komoře solnou mlhou po 24 hodinových cyklech, po kterých byla provedena fotodokumentace a zhodnocení aktuálního stavu koroze.

Zároveň byly vystaveny další dva vzorky označené X a Y, upravené stávajícími technologiemi s bodovými a švovými svary v reálných podmínkách podniku, aby bylo možné porovnat urychlení doby koroze v korozní komoře do reálných podmínek.

Jelikož je pořízená fotodokumentace velmi rozsáhlá, jsou v této práci obsaženy pouze fotografie, poukazující na prokazatelnou změnu korozního napadení vzorků.


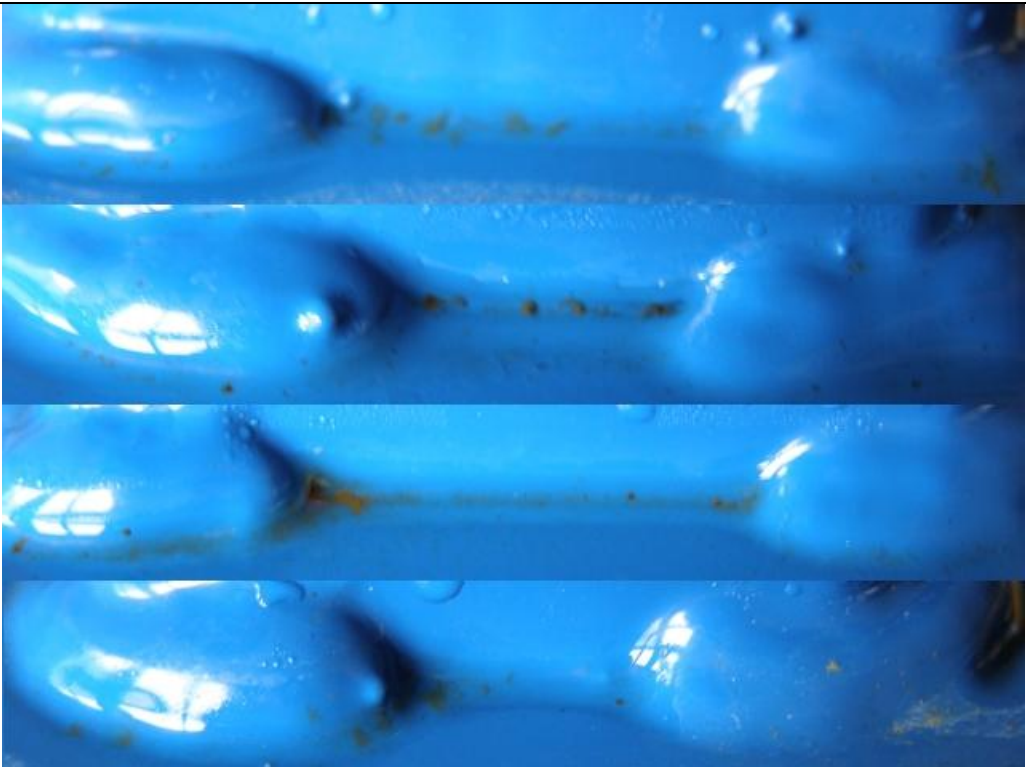
V tabulce 7.2.3 je tak uveden vznik prvních opticky sledovatelných korozních zárodků společně s konečným vzhledem po ukončení korozní zkoušky.

Tab. 7.2.2 – Charakteristika a dělení zkušebních vzorků

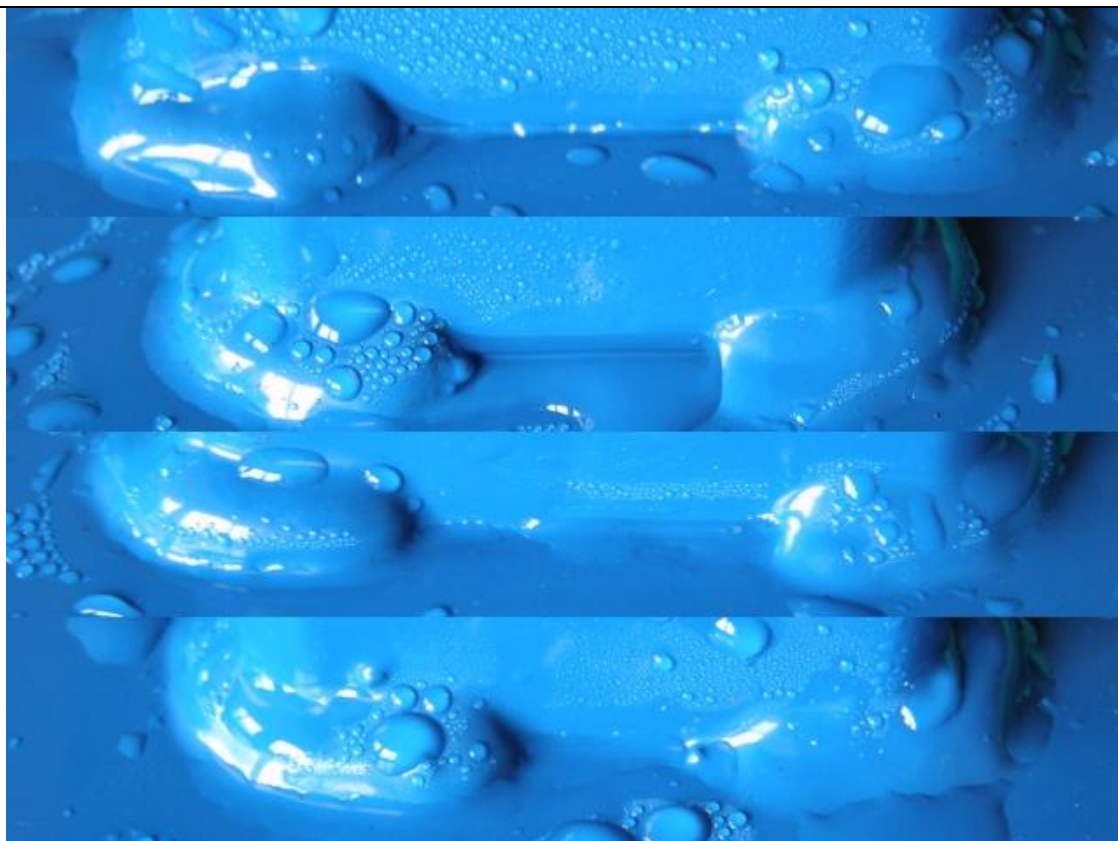
Značení	Charakteristika vzorku
Vzorek 1	Referenční vzorek pro porovnání nepoškozeného vzorku se zkoušenými, v korozní komoře netestován
Vzorek 2	Spára zalitá barvou, doba expozice 240 hodin při vodorovném uložení v korozní komoře
Vzorek 3	Spára zalitá barvou, doba expozice 240 hodin při vodorovném uložení v korozní komoře
Vzorek 4	Vzorek kompletně svařen opatřen dvěma zkušebními vrypy, doba expozice 240 hodin při vodorovném uložení v korozní komoře
Vzorek 5	Vzorek kompletně svařen, opatřen dvěma zkušebními vrypy, doba expozice 240 hodin při vodorovném uložení v korozní komoře.
Vzorek 6	Vzorek se zkosením jackelového profilu pod 45°, expozice 240 hodin při vodorovném uložení v korozní komoře
Vzorek 7	Vzorek se zkosením jackelového profilu pod 45°, expozice 240 hodin při vodorovném uložení v korozní komoře
Vzorek 8	Vzorek proveden dle stávajícího technologického postupu, expozice 480 hodin při šikmém zavěšení pod 45° v korozní komoře
Vzorek 9	Vzorek proveden dle stávajícího technologického postupu, expozice 480 hodin při vodorovném uložení v korozní komoře
Vzorek 10	Vzorek proveden dle stávajícího technologického postupu, expozice 480 hodin při vodorovném uložení v korozní komoře

Tabulka naměřených hodnot

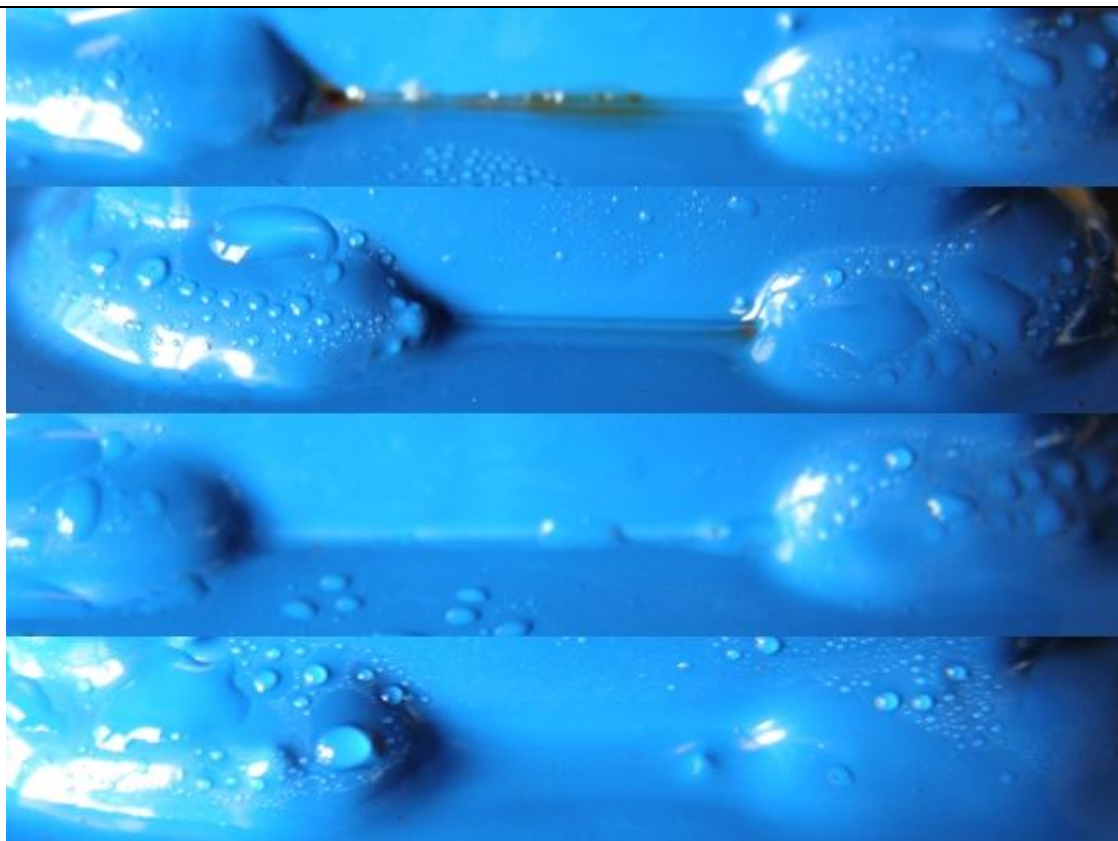
Tab. 7.2.3 – Výsledky korozních zkoušek

Vzorek 2 – expozice 120 hodin, počínající bodová koroze	
	
Vzorek 2 – expozice 240 hodin, rozvíjející se bodová koroze	
	

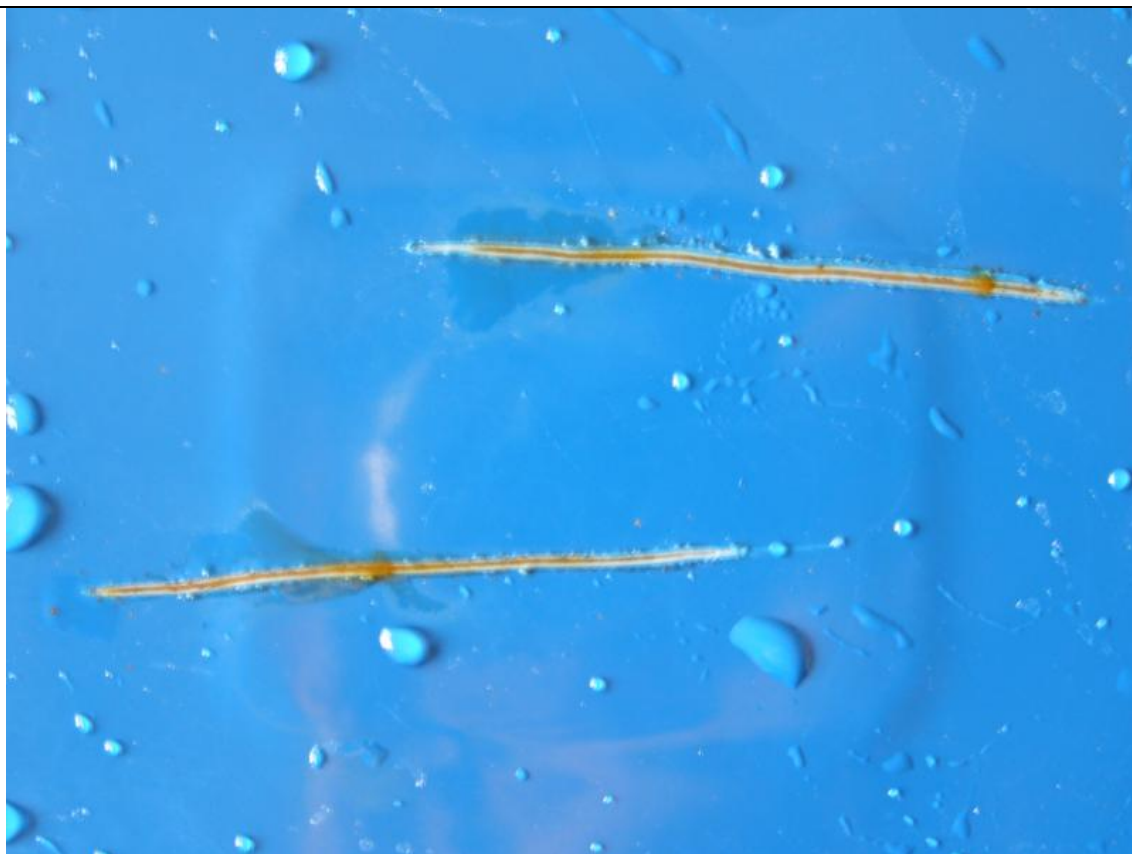
Vzorek 3 – Expozice 192 hodin, začínající vznik velmi malých místních bodů koroze



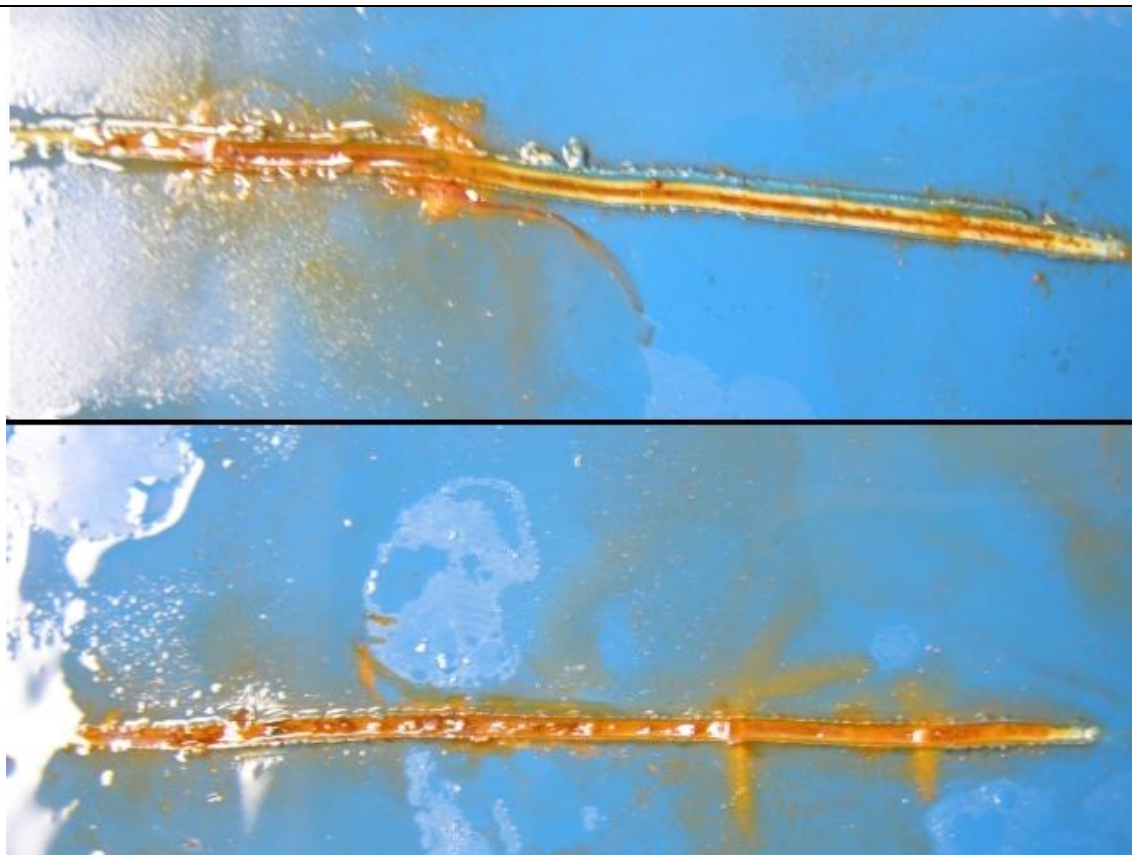
Vzorek 3 – Expozice 240 hodin, začínající bodová koroze



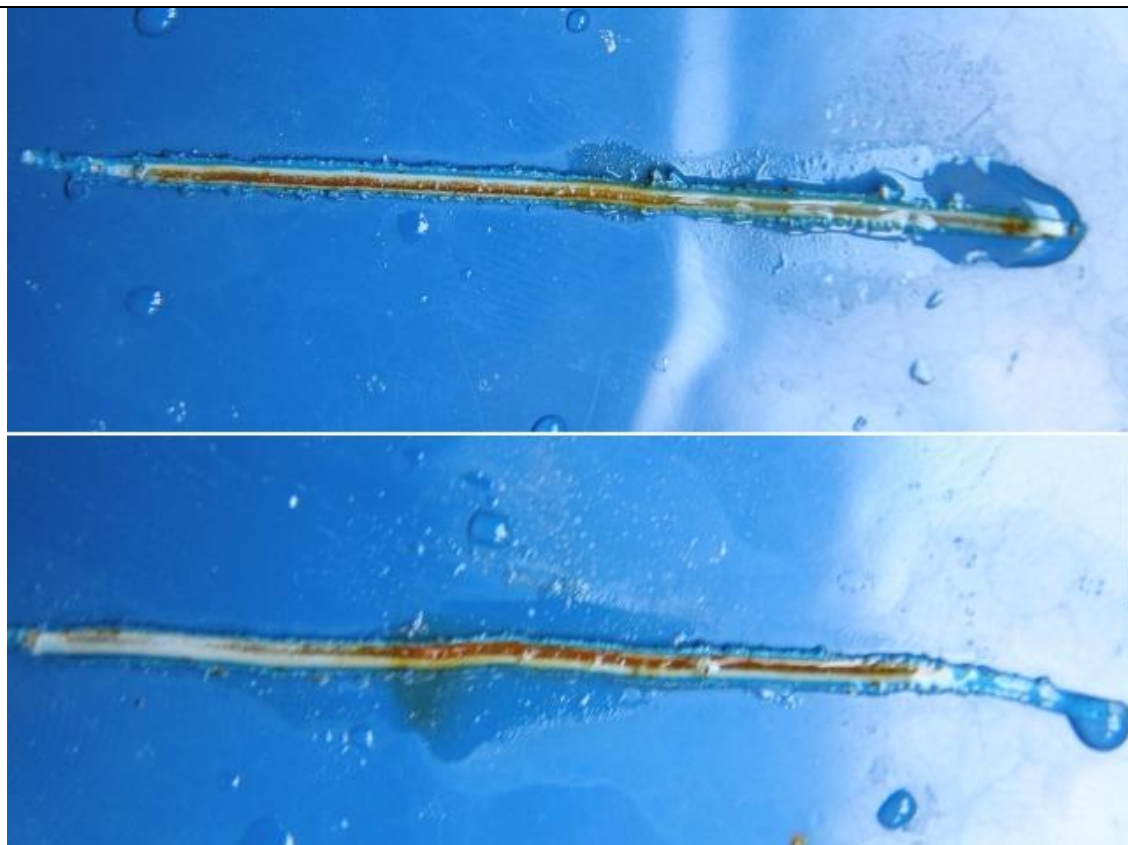
Vzorek 4 – expozice v korozní komoře 24 hodin, vznik koroze ve zkušebních vrypech



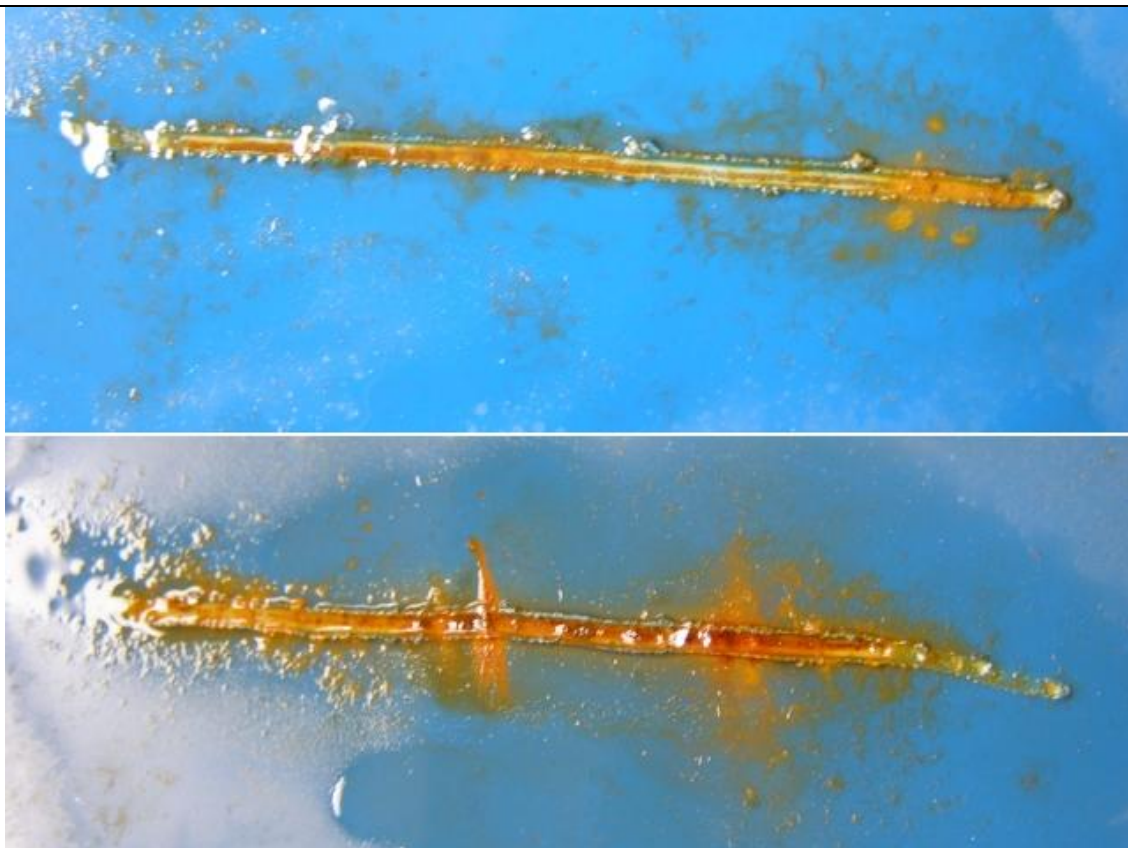
Vzorek 4 – expozice v korozní komoře 240 hodin, rozvíjející se koroze ve vrypech



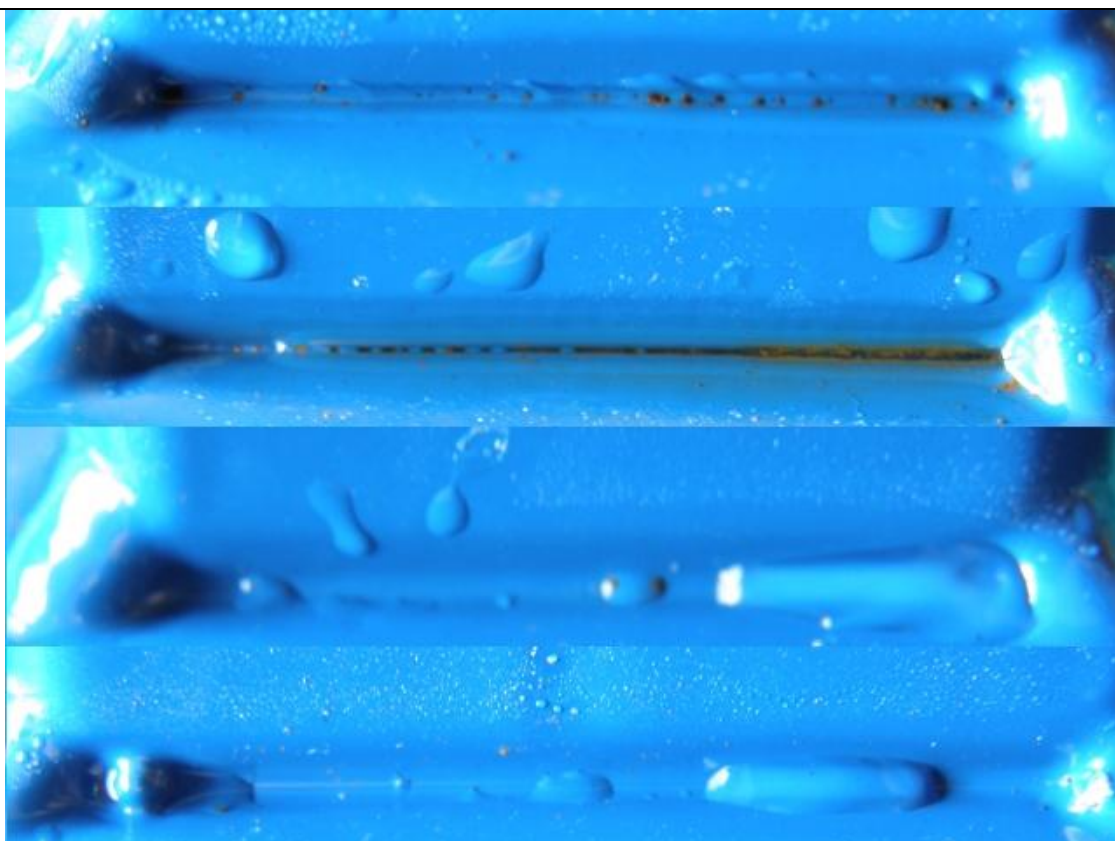
Vzorek 5 – expozice v korozní komoře 24 hodin, vznik koroze ve zkušebních vrypech



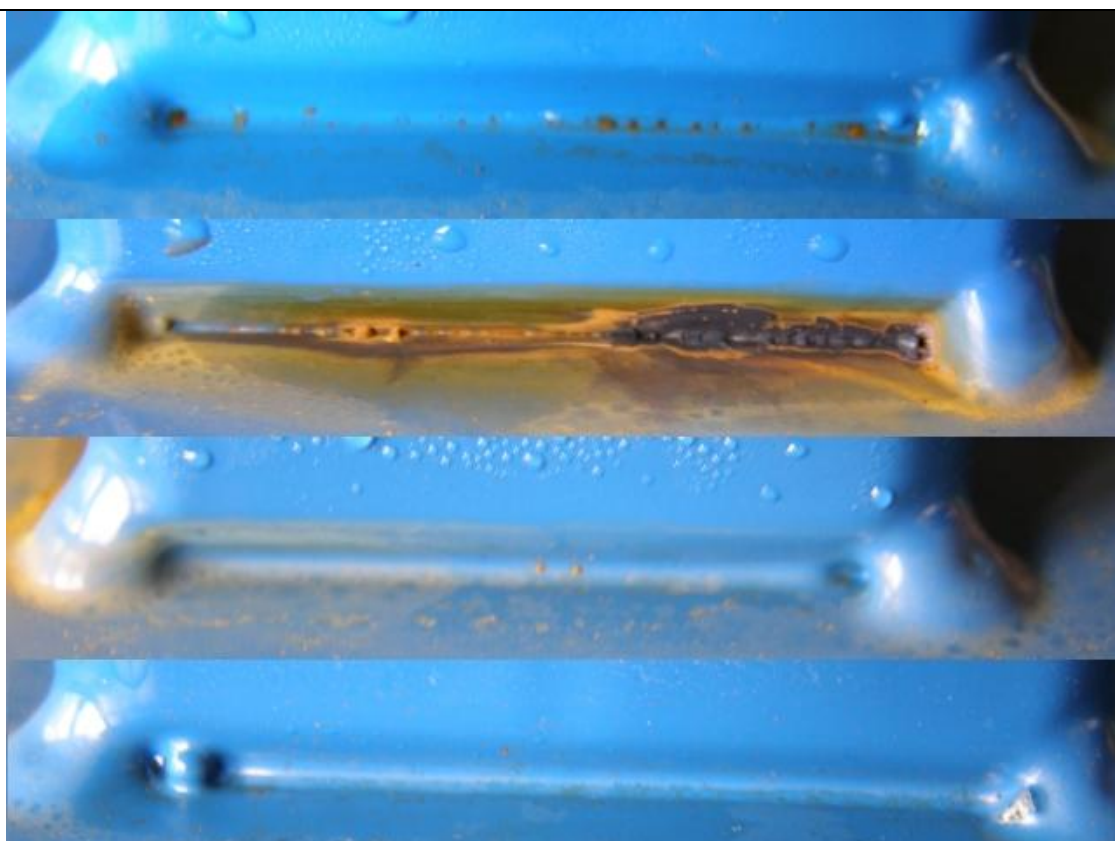
Vzorek 5 – expozice v korozní komoře 240 hodin, rozšířená koroze ve vrypech



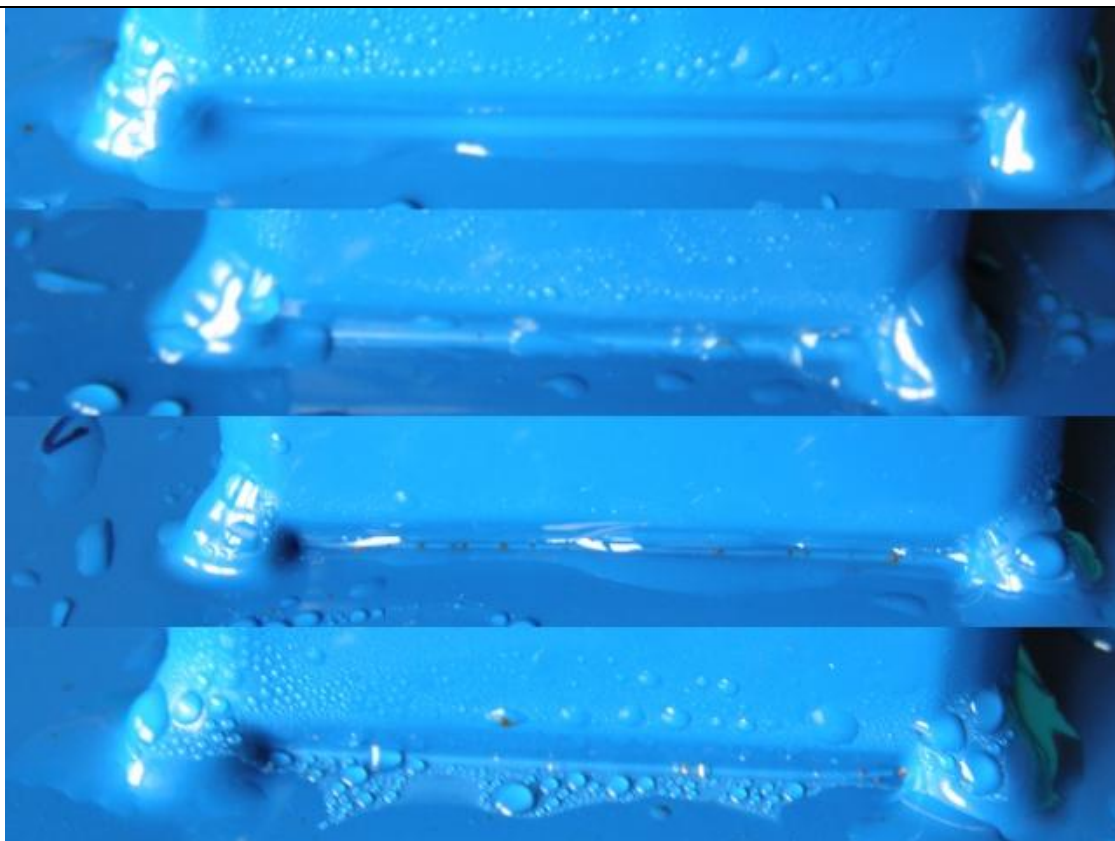
Vzorek 6 – expozice 48 hodin, vznik korozních bodů a vytékající koroze



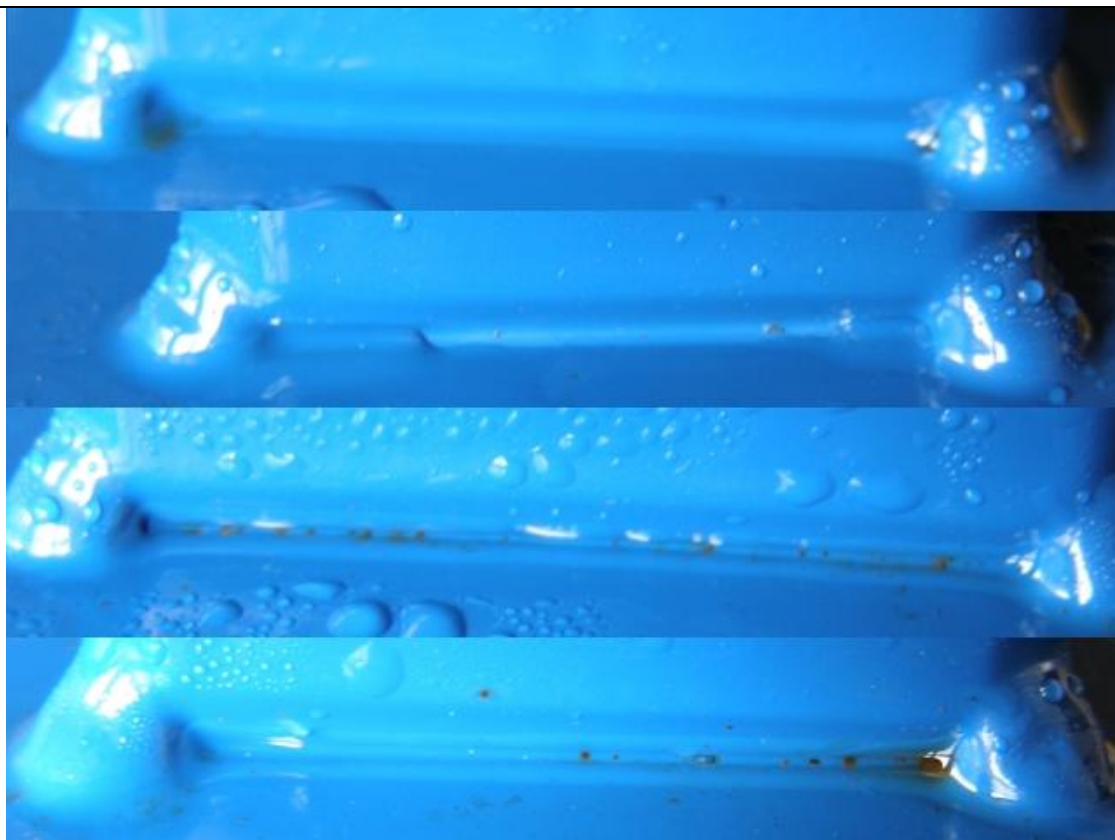
Vzorek 6 – expozice 240 hodin, růst bodové koroze, silná koroze u jednoho zkosení



Vzorek 7 – expozice 72 hodin, místní začínající bodová koroze



Vzorek 7 – expozice 240 hodin, zesilující bodová koroze



Vzorek 8 – Expozice 24 hodin, počínající vytékající koroze



Vzorek 8 – Expozice 480 hodin, silná koroze spár a vytékající korozní zplodiny



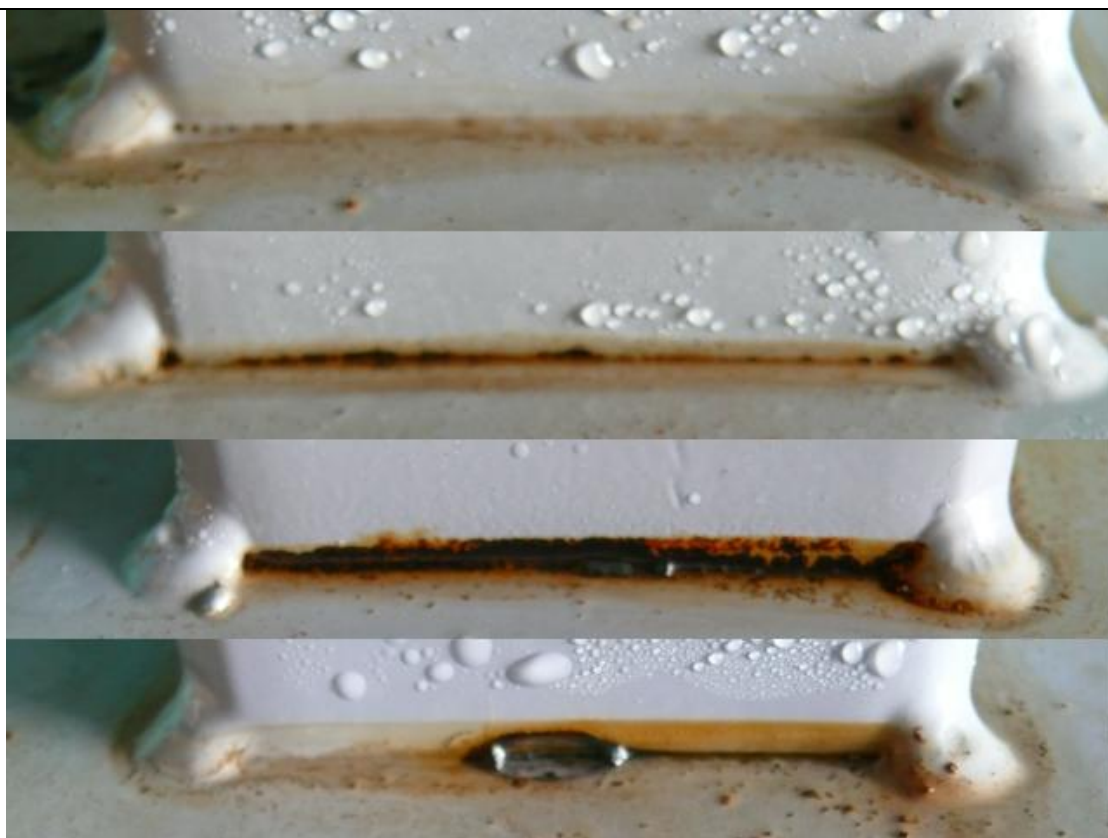
Vzorek 9 – Expozice 24 hodin, zřetelná vytékající koroze ze spár zasahující okolí



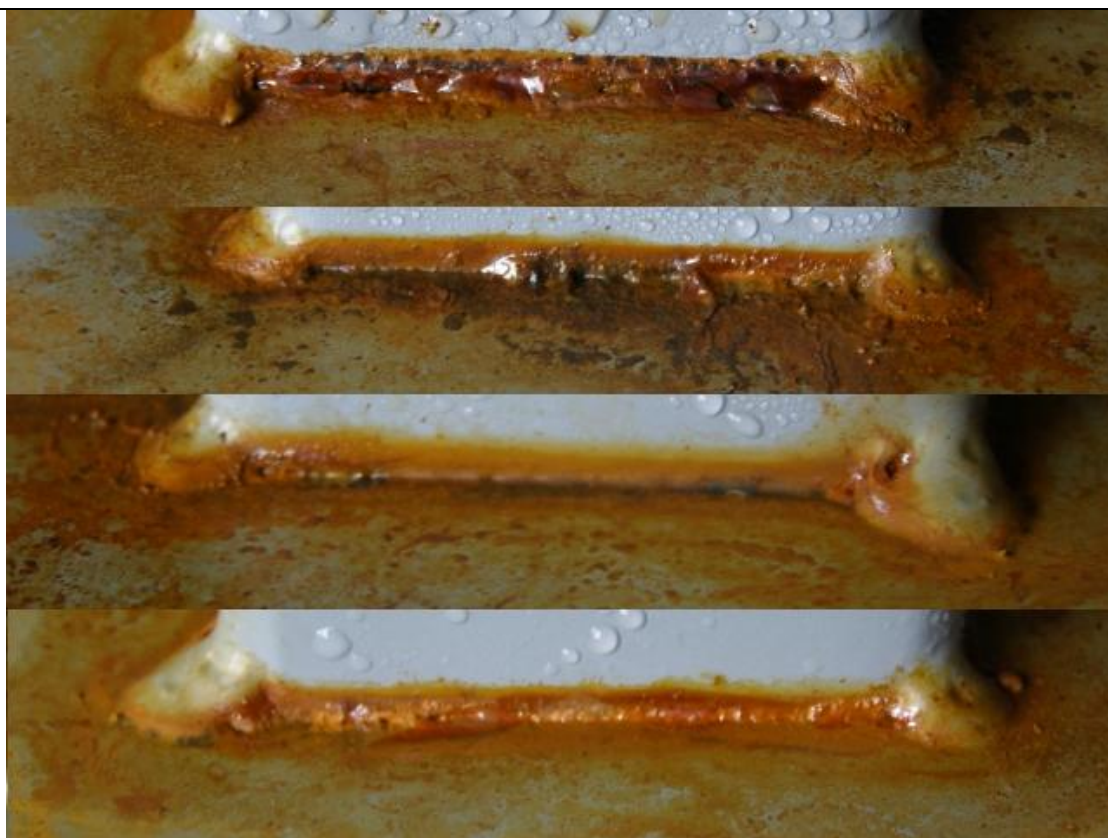
Vzorek 9 – Expozice 480 hodin, velmi silná koroze spár a okolí



Vzorek 10 – Expozice 24 hodin, zřetelná vytékající koroze ze spár zasahující okolí



Vzorek 10 – Expozice 480 hodin, velmi silná koroze spár a okolí



Vzorek X – Vzorek s bodovými svary umístěn v reálných podmínkách prostředí firmy pro porovnání urychlení koroze ve zkušební korozní komoře. Expozice 1440 hodin.



Vzorek Y – Vzorek se švovými svary umístěn v reálných podmínkách prostředí firmy pro porovnání urychlení koroze ve zkušební korozní komoře. Expozice 1440 hodin.



Podmínky laboratoře

Teplota vzduchu: 22°C

Vlhkost vzduchu: 53%

Vyhodnocení zkoušky

Korozní zkouškou solnou mlhou byla prokázána nedostatečná antikoroziční úprava stávající technologické úpravy dílců povlakovaných práškovými nátěry. Při zkouškách v korozní komoře solnou mlhou byly zkušební vzorky vystaveny expozici cyklických zkoušek po dobu 480 hodin u vzorků upravených stávající technologií a po dobu 240 hodin u vzorků upravených.

Vzorky neupravené prokázaly nedostatečnou povrchovou antikoroziční úpravu vnitřních částí konstrukce, do kterých není možné žádným způsobem vpravit práškový povlak. Tyto vnitřní části poté oxidují, přičemž z nich stékající koroze napadá i okolí ve vytékajících spárách konstrukce. První patrné korozní napadení bylo zřejmé již po expozici 24 hodin v korozní komoře, kdy se ve spárách začala objevovat zřetelná vrstva vytékající koroze, stékající z kolmých vnitřních ploch konstrukce. Po ukončení zkoušky v expozici 480 hodin byl vnější povrch okolí spár zcela pokryt vzniklou korozi.

Vzorky vsazené do komory ve druhé etapě zkoušek byly již upraveny dle návrhů pro zjištění vznikající vnitřní zbytkové kondenzace na plochách vzorků na kompletně zavařených a práškově povlakovaných dílcích. Dále byly testovány vzorky ověřující zhoršení nanášecích podmínek při vytvoření ostrého úhlu rohových spár vzorků. Třetí variantou bylo zkoušení vzorků se zalitými spárami, které měly zabránit výstupu koroze na povrch konstrukce a částečně zabránit i pronikání korozních atmosfér do vnitřních prostor dílců.

U vzorků kompletně zavařených se neprojevila žádná vnější patrná koroze ani po době expozice 240 hodin. Zkušební vrypy na těchto vzorcích prokázaly, že nedochází k podkorodování práškového nátěru do doby expozice 240 hodin. Dle výrobce barev by se první podkorodování mohlo objevit až na hranici 720 hodin.

Vzorky zkosené neukázaly zhoršení korozních podmínek, které bylo očekáváno díky vytvoření ostřejšího úhlu rohové spáry. Ostré úhly jsou při nanášení práškových nátěrů většinou spíše překážkou, avšak v případě této zkoušky došlo k mírnému zlepšení korozní odolnosti koutové spáry. Namísto prvního viditelného vzniku

korozních zplodin u neupravených vzorků již po 24 hodinách expozice v korozní komoře dosáhly zkosené vzorky zlepšení na hranici 48 hodin u prvního a 72 hodin u druhého při mnohem menším množství vystupující koroze. Po ukončení zkoušek v době expozice 240 hodin již docházelo v okolí spár ke zřetelnému poškození vlivem vytékajících korozních produktů.

Vzorky předupravené zalitím kritických spár pomocí barvy mokrou metodou vykazovaly nejlepší dosažené výsledky. První známky vystupující koroze se objevily až po 120 hodinách u prvního vzorku a 192 hodinách u vzorku druhého. V obou případech šlo pouze o výskyt bodové koroze v malém rozsahu. Po ukončení korozních zkoušek v době expozice 240 hodin byla patrná pouze místy bodová koroze v malém rozsahu. Právě díky dobrým výsledkům je tato úprava vhodná pro další použití v praxi pro účely dané firmy a jejich konstrukcí.

Vzorky zkoušené v reálných podmínkách byly testovány po dobu 1440 hodin, tedy dvou měsíců v atmosférických podmínkách okolí firmy. Korozní napadení těchto vzorků lze porovnávat se vzorky 9 a 10, které jsou vyrobeny stejnou technologií a zkoušeny ve shodné pozici (vodorovně s kolmým stékáním korozních produktů). Při porovnání koncového korozního napadení vzorků v reálném prostředí se vzorky 9 a 10 obsažených v korozní komoře po expozici 24 hodin lze soudit, že doba 1440 hodin v reálném prostředí souhlasí s dobou 24 hodin v korozní solné komoře u těchto zkušebních vzorků s danou povrchovou a konstrukční úpravou. V korozní komoře se tedy jedná o šedesáti násobné urychlení koroze na daných vzorcích.

7.3 Stanovení tloušťky suchého laku

Popis metody

Měření je prováděno pomocí měřicího přístroje ELCOMETER 456, který pracuje na principu magnetické indukce. Přístroj lze použít pouze pro měření nekovových povlaků na magnetickém podkladu. Přístroj se přiloží snímací částí kolmo na vzorek a převede hodnotu magnetické indukce na číselnou hodnotu zobrazenou na displeji. Hodnota z displeje se odečte a zaznamená. Pro docílení správnosti měření musí být povrch co nejhladší, aby nedocházelo ke zkreslování naměřené tloušťky nerovností povrchu. Zkouška je prováděna dle ČSN EN ISO 2808

Zkušební prostředky a pomůcky

Příruční digitální tloušťkoměr ELCOMETER 456 Basic



Obr. 7.3 - ELCOMETER 456 Basic

Postup zkoušky

Snímací sonda digitálního měřidla ELCOMETER 456 Basic se přiloží na vzorek. Na displeji se zobrazí naměřená tloušťka v měřeném místě. Pro lepší přehled o tloušťce vrstvy na vzorku a eliminaci chyb se provede alespoň 10 měření. Měření se provádí postupně stejným směrem a systémem na všech vzorcích, aby se dalo vyjádřit vyhodnocení rozdílů tloušťek na shodných místech vzorků. Z naměřených hodnot každého vzorku se vypočtou průměrné hodnoty.

Tabulka naměřených hodnot

Tab. 7.3.1 – Stanovení tloušťky suchého laku

	Vzorek 1	Vzorek 2	Vzorek 3	Vzorek 4	Vzorek 5
Měření	Naměřená tloušťka [μm]				
1	193	254	256	240	204
2	138	280	270	262	296
3	84,9	323	226	262	206
4	99,4	282	200	237	161
5	135	258	195	237	158
6	126	296	179	260	185
7	155	323	184	245	221
8	171	351	265	244	190
9	122	347	243	282	224
10	96	373	169	268	251
Průměr	132,03	308,7	218,7	253,7	209,6

	Vzorek 6	Vzorek 7	Vzorek 8	Vzorek 9	Vzorek 10
Měření	Naměřená tloušťka [μm]				
1	380	267	388	168	191
2	404	237	345	228	78,3
3	405	238	338	388	45,9
4	334	258	398	169	91,5
5	321	258	345	191	66,9
6	368	229	323	313	60,6
7	401	222	380	213	76,1
8	319	253	354	204	63,8
9	338	239	306	254	106
10	337	251	371	237	82,2
Průměr	360,7	245,2	354,8	236,5	86,23

Podmínky laboratoře

Teplota vzduchu: 22°C

Vlhkost vzduchu: 54%

Vyhodnocení zkoušky

Zkouškou stanovení tloušťky suchého nátěru byly určeny tloušťky vrstev práškového povlaku složeného ze základní a vrchní vrstvy. Dle doporučených hodnot dodavatele barev by měly tloušťky základních vrstev odpovídat rozmezí 50 - 70 μm a vrchní vrstvy 60 – 70 μm . Tloušťka kompletního povlaku by tak měla dosahovat tloušťky v rozmezí 110 – 140 μm . Do této oblasti však spadá pouze vzorek číslo 1, tedy referenční zkušební vzorek, jenž neprošel korozní zkouškou v solné mlze. Zbylé testované vzorky vykazují velké odlišnosti v tloušťce vrstev, což lze připisovat především částečnému znečištění povlaku po korozní zkoušce, kdy docházelo společně s měřením samotného nátěrového povlaku i k měření vzniklé oxidační vrstvy.

7.4 Stanovení drsnosti zoxidovaného povrchu

Popis metody

Na pevný rovný stůl se umístí měřená součást, vedle níž se umístí stejně vysoká podložka pro měřicí přístroj, aby se docílilo rovnoběžného měření. Rameno profilometru se snímacím hrotem se umístí na měřený povrch vzorku. Měřicí část zakončená snímačem s diamantovým hrotem se pohybuje konstantní rychlostí, přičemž snímá nerovnosti povrchu. Rameno provádí přímočarý vratný pohyb, který je zajištěn elektromotorkem. Pro eliminaci prohnutí vzorku a hrubých nerovností je třeba na profilometru nastavit vzdálenost λ_c , na které se provádí měření. Profilometr převádí signál generovaný snímacím hrotem sledujícím nerovnosti povrchu měřené plochy na elektrický signál, který se zpracovává. Naměřené hodnoty drsnosti jsou následně zobrazeny na displeji přístroje v číselných hodnotách a grafické podobě. U profilometru SJ-301 lze zároveň naměřené hodnoty a průběhy drsnosti vytisknout pomocí integrované tiskárny, zaznamenat na paměťovou kartu, či převést jako výstup na počítač.

Zkušební prostředky a pomůcky

Drsnoměr MITUTOYO SurfTest SJ - 301



Obr. 7.4.1 – Drsnoměr MITUTOYO SurfTest SJ - 301

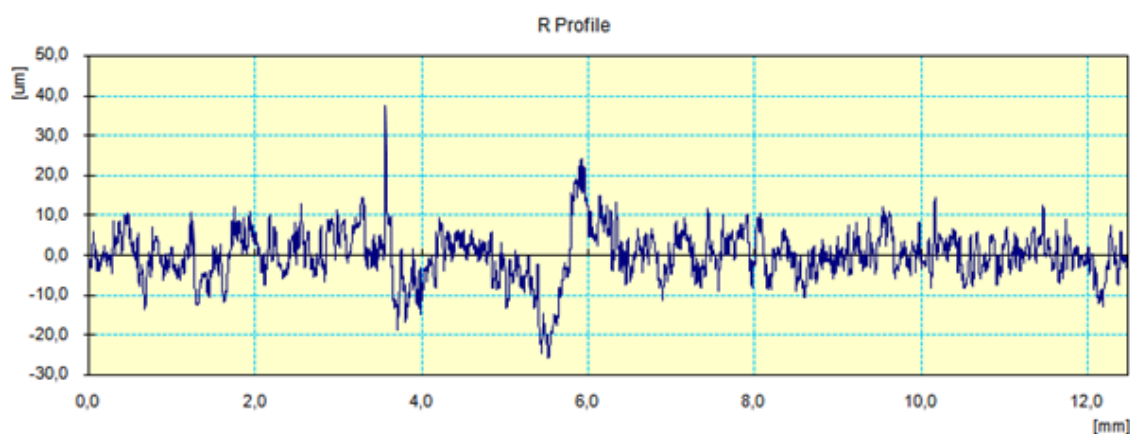
Postup zkoušky

1. Kontrola drsnoměru pomocí komparačního plíšku s danými parametry drsnosti obsaženého v sadě přístroje
2. Přiložení drsnoměru na zkušební vzorek, nastavení parametrů přístroje, naměření parametrů drsnosti (R_a , R_z , R_q)
3. Měření se provede na každém ze vzorku alespoň pětkrát v různých místech, pro dosažení lepšího přehledu drsnosti celého vzorku.

Tabulka naměřených hodnot

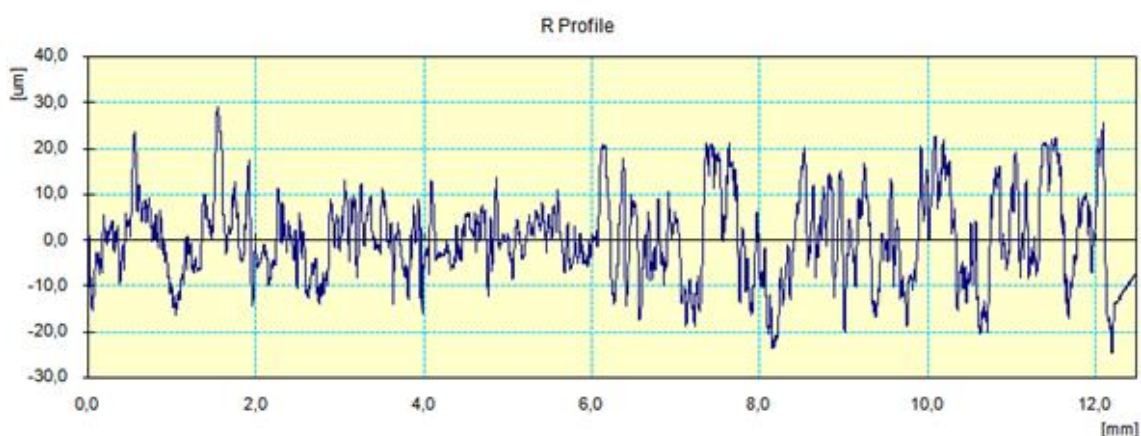
Tab. 7.4.1 - Stanovení drsnosti profilu

Vzorek 1 $\lambda_c = 2,5\text{mm} = L_r$, $L = 12,5\text{mm}$				
R_a [μm]	R_y [μm]	R_z [μm]	R_q [μm]	Poznámka
4,34	29,59	23,49	5,42	Referenční vzorek bez koroze
4,57	34,3	23,56	5,94	
4,67	36,33	23,03	5,95	Referenční vzorek bez koroze Obr. 7.4.2
3,81	25,38	18,29	4,78	Referenční vzorek bez koroze
5,02	32,36	20,58	6,44	
4,48	31,59	21,79	5,70	Průměrná hodnota



Obr. 7.4.2 – Profil naměřené drsnosti vzorku 1

Vzorek 2 $\lambda_c = 2,5\text{mm} = L_r$, $L = 12,5\text{mm}$				
Ra [μm]	Ry [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Poznámka
7,09	44,82	32,4	8,93	Měřený povrch zkorodován po celé ploše.
5,1	31,5	22,26	6,38	Měřený povrch zkorodován bodovou korozí.
7,45	41,94	33,32	9,18	Měřený povrch viditelně zkorodován. Obr. 7.4.3
4,78	30,02	20,88	5,92	Měřený povrch bez viditelné koroze.
5,49	35,92	21,16	7,01	Měřený povrch bez viditelné koroze. Obr. 7.4.4
5,982	36,84	26,004	7,484	Průměrná hodnota

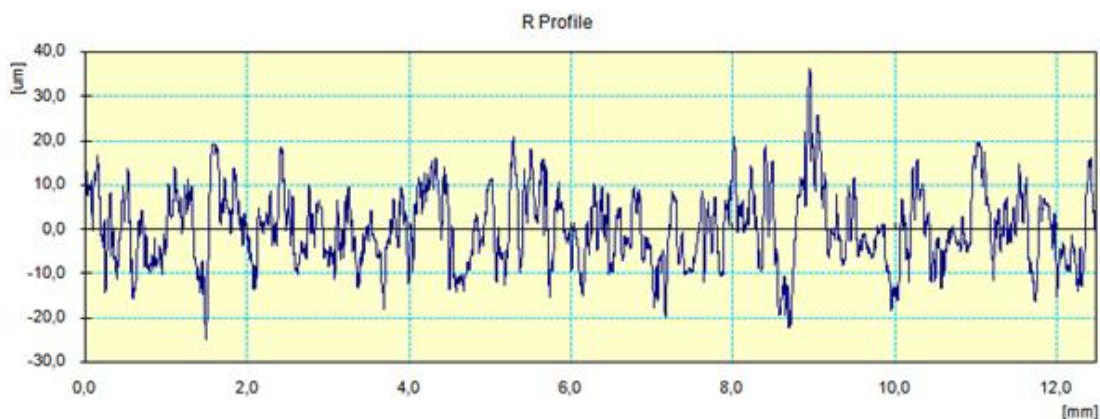


Obr. 7.4.3 – Profil naměřené drsnosti vzorku 2 na zkorodovaných plochách povrchu

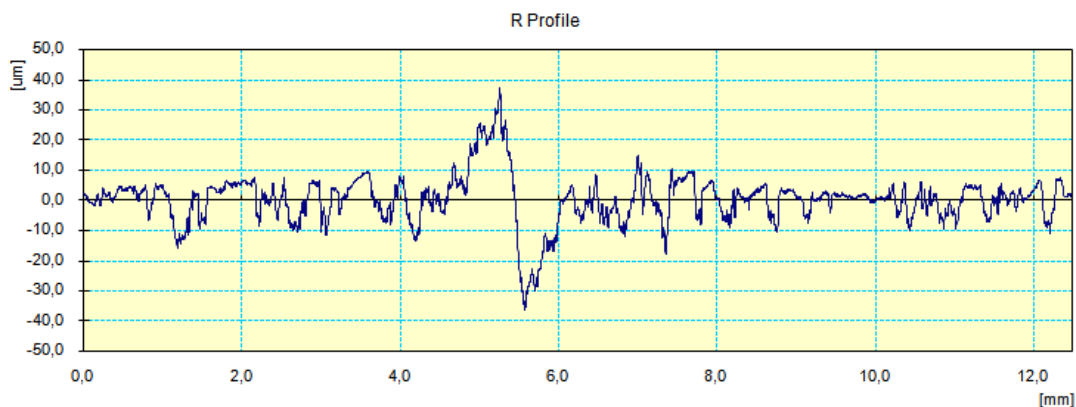
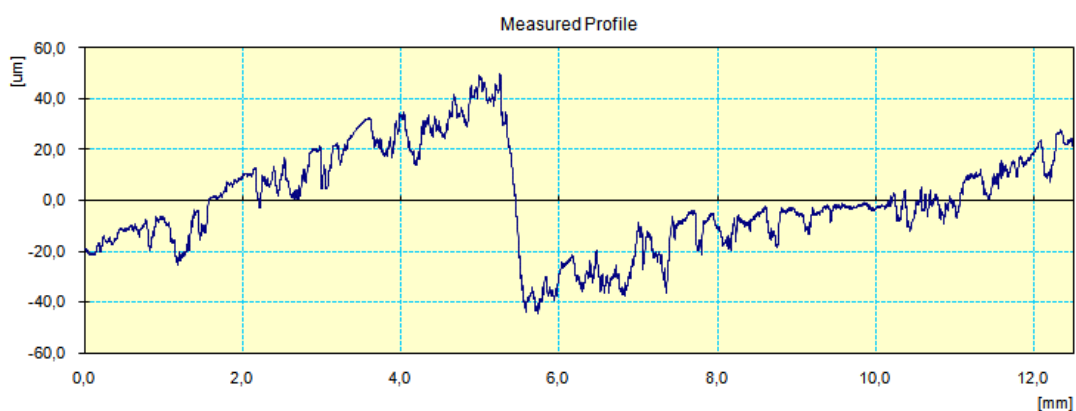


Obr. 7.4.4 – Profil naměřené drsnosti vzorku 2 na nezkorodovaných plochách

Vzorek 3 $\lambda_c = 2,5\text{mm} = L_r$, $L = 12,5\text{mm}$				
Ra [μm]	Ry [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Poznámka
3,88	23,7	19,6	4,8	Měřený povrch viditelné zkorodován. Obr. 7.4.5
6,84	42,63	30,73	8,42	Měřený povrch viditelné zkorodován.
10	66,51	40,81	12,72	
5,43	34,83	19,6	7	Měřený povrch bez viditelné koroze. Obr. 7.4.6
5,19	31,35	18,75	6,66	Měřený povrch bez viditelné koroze.
6,268	39,804	25,898	7,92	Průměrná hodnota

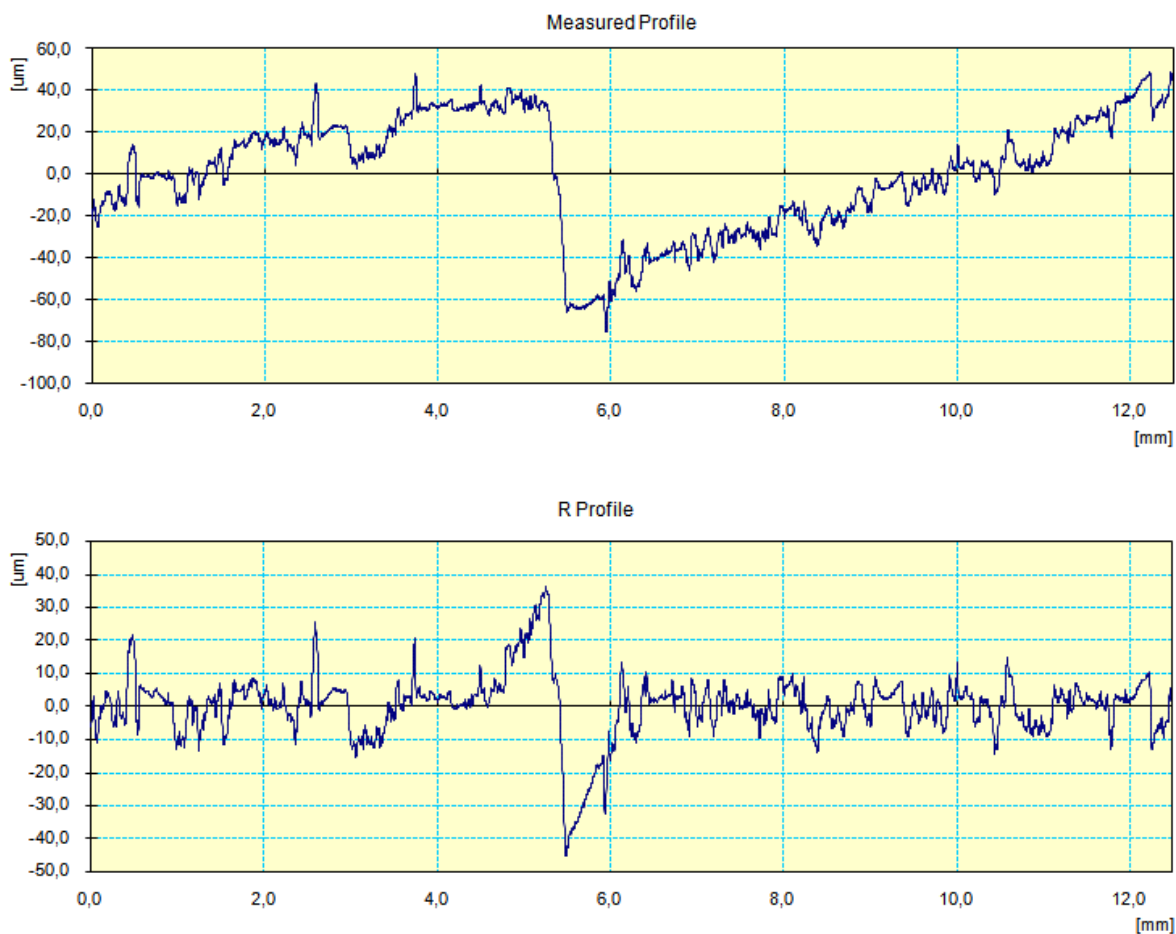


Obr. 7.4.5 – Profil zkorodovaného povrchu vzorku 3



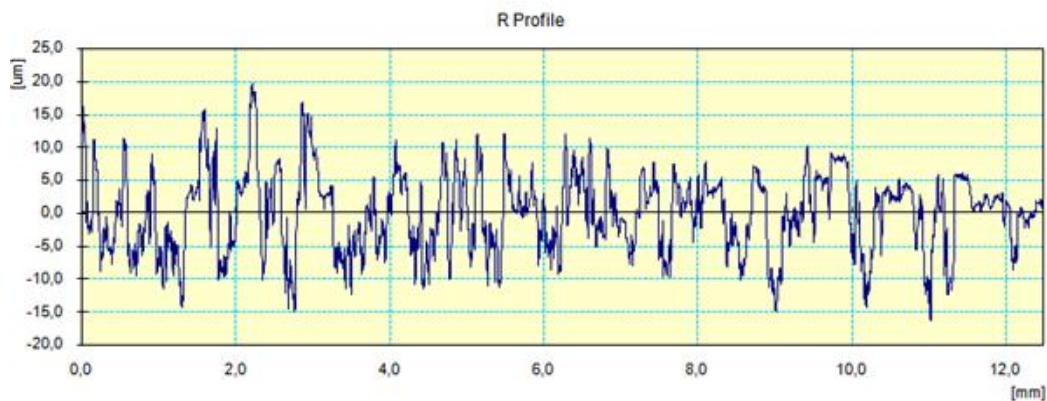
Obr. 7.4.6 – Měřený profil a profil drsnosti čistého povrchu vzorku 3, na měřeném profilu je viditelný skok v profilu povrchu měřeného materiálu

Vzorek 4 $\lambda_c = 2,5\text{mm} = L_r$, $L = 12,5\text{mm}$				
Ra [μm]	Ry [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Poznámka
3,83	24,86	18,21	4,82	Měřený povrch bez viditelné koroze.
5,2	34,26	25,04	6,43	
6,35	42,14	25,28	8,45	Povrch bez viditelné koroze. Obr. 7.4.7
4,41	22,38	18,18	5,08	Měřený povrch bez viditelné koroze.
4,67	23,68	17,89	5,51	
4,892	29,464	20,92	6,058	Průměrná hodnota

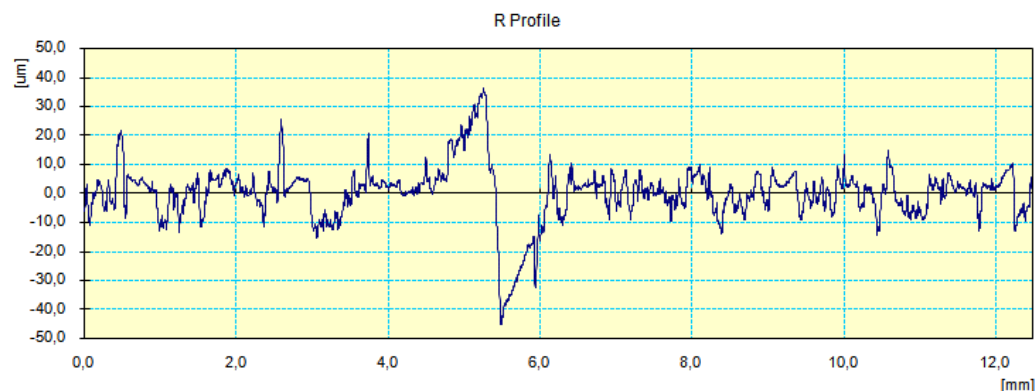


Obr. 7.4.7 – Měřený profil a profil drsnosti zkušebního vzorku 4 bez viditelné koroze.
Na vzorku je pozorovatelný zub v povrchu materiálu

Vzorek 5 $\lambda_c = 2,5\text{mm} = L_r$, $L = 12,5\text{mm}$				
Ra [μm]	Ry [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Poznámka
6,82	45,88	28,36	8,85	Měřený povrch zkorodován v malé oblasti
4,86	27,31	20,83	5,95	Povrch zkorodován v malé oblasti. Obr. 7.4.8
4,32	24,9	18,74	5,29	Měřený povrch bez viditelné koroze.
5,85	37,49	27,25	7,57	Povrch bez viditelné koroze. Obr. 7.4.9
3,91	22,37	17,16	4,79	Měřený povrch bez viditelné koroze.
5,152	31,59	22,468	6,49	Průměrná hodnota

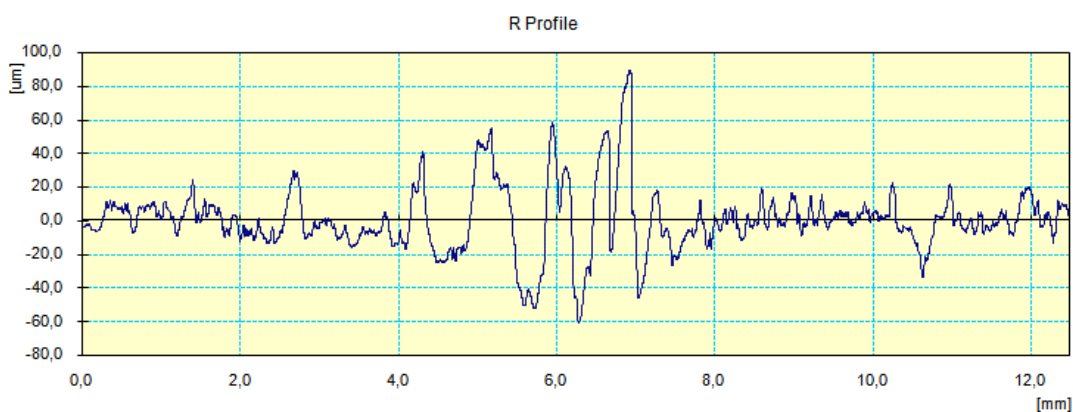
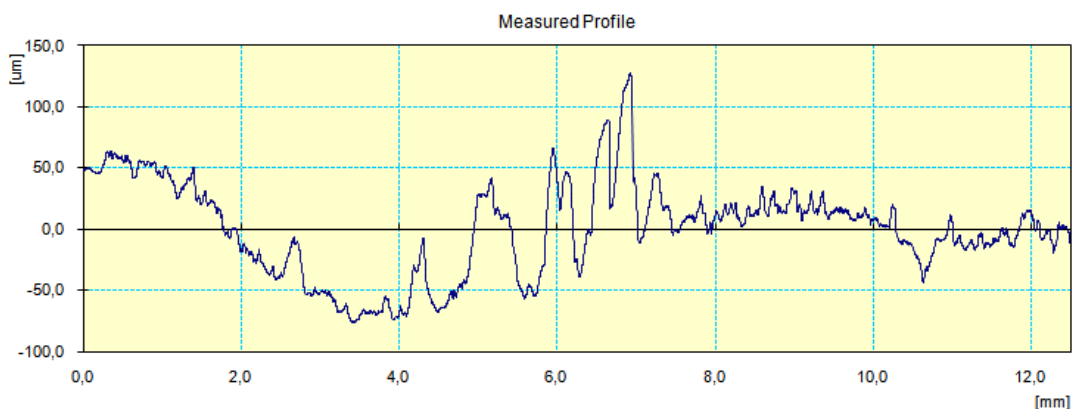


Obr. 7.4.8 – Profil drsnosti vzorku 5 v malé části zkorodovaného povrchu

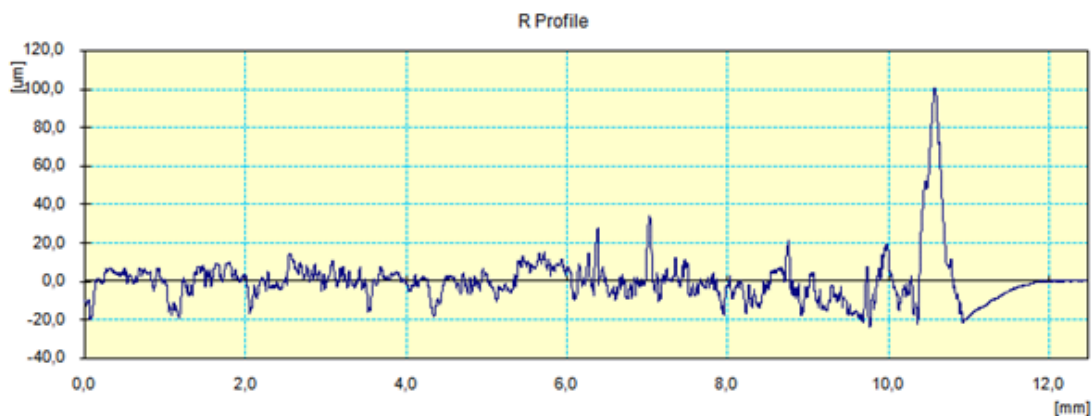


Obr. 7.4.9 – Měřený profil a profil drsnosti vzorku 5 v oblasti bez pozorovatelné koroze. Viditelný skok v profilu měřeného materiálu.

Vzorek 6 $\lambda_c = 2,5\text{mm} = L_r$, $L = 12,5\text{mm}$				
Ra [μm]	Ry [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Poznámka
13,06	71,84	47	15,79	Povrch zkorodován silnou korozí. Obr. 7.5.10
6,83	41,18	26,67	8,79	Měřený povrch zkorodován slabší korozí.
7,16	46,49	30,2	9,2	Měřený povrch viditelně zkorodován.
7,21	54,96	36,77	10,87	Měřený povrch zkorodován. Obr. 7.4.11
4,7	38	24,55	6,91	Měřený povrch bez viditelné koroze.
7,792	50,494	33,038	10,312	Průměrná hodnota

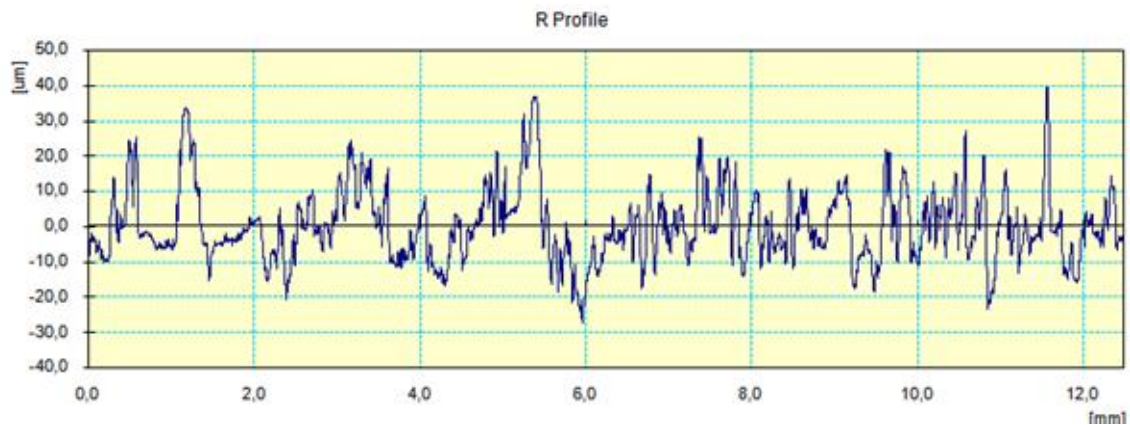


Obr. 7.4.10 – Měřený profil a profil drsnosti vzorku 7 v oblasti velké koroze.



Obr. 7.4.11 – Profil drsnosti vzorku 7 v oblasti běžné koroze.

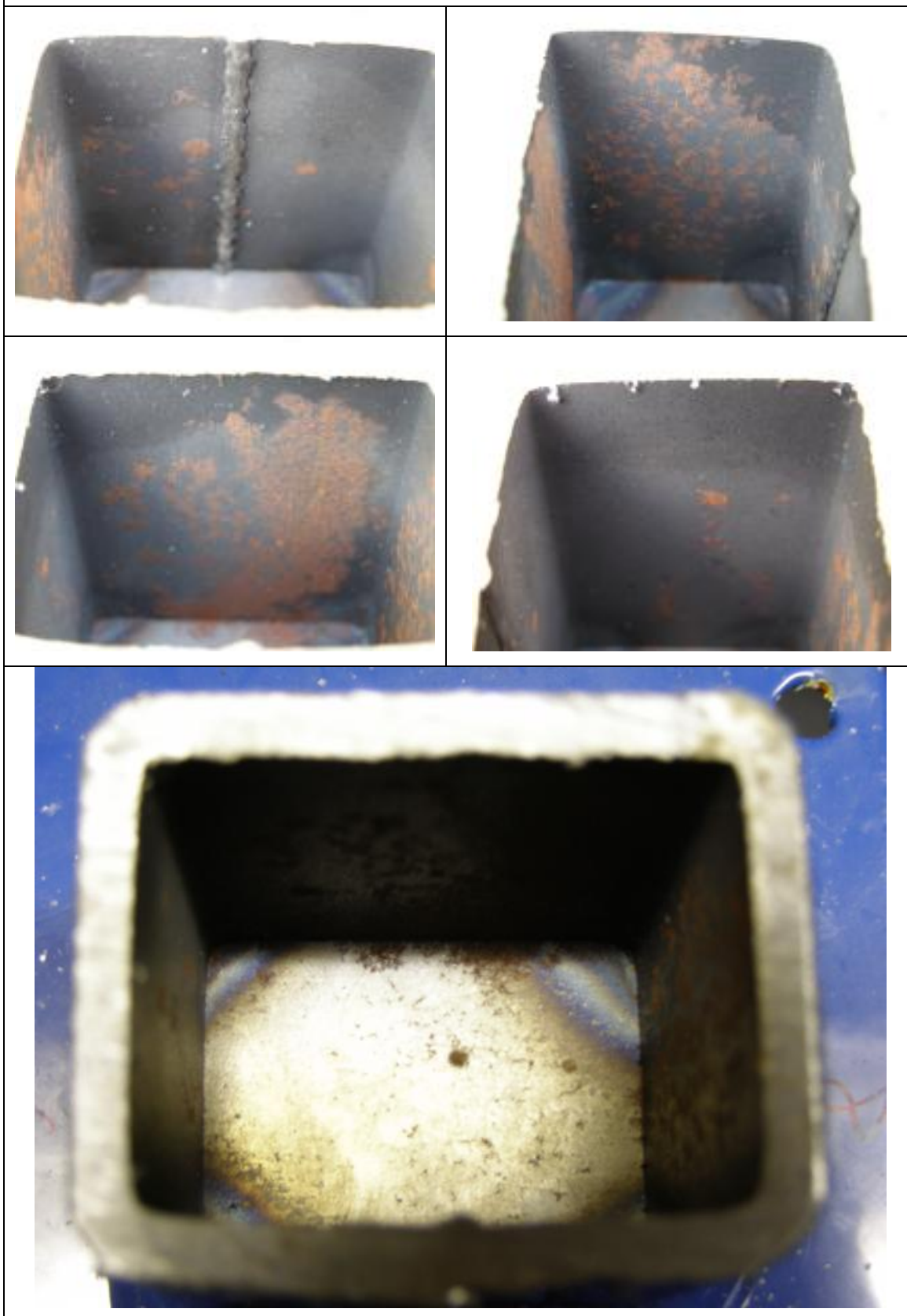
Vzorek 7 $\lambda_c = 2,5\text{mm} = L_r$, $L = 12,5\text{mm}$				
Ra [μm]	Ry [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Poznámka
5,6	44,17	27,78	7,59	Měření provedeno na všech plochách pokrytých rovnoměrnou korozí. Obr. 7.4.12
6,37	42,98	29,3	8,34	
4,55	30,02	20,03	5,94	
4,99	27,33	21,02	5,92	
7,85	52,6	34,84	10,24	
5,872	39,42	26,594	7,606	Průměrná hodnota



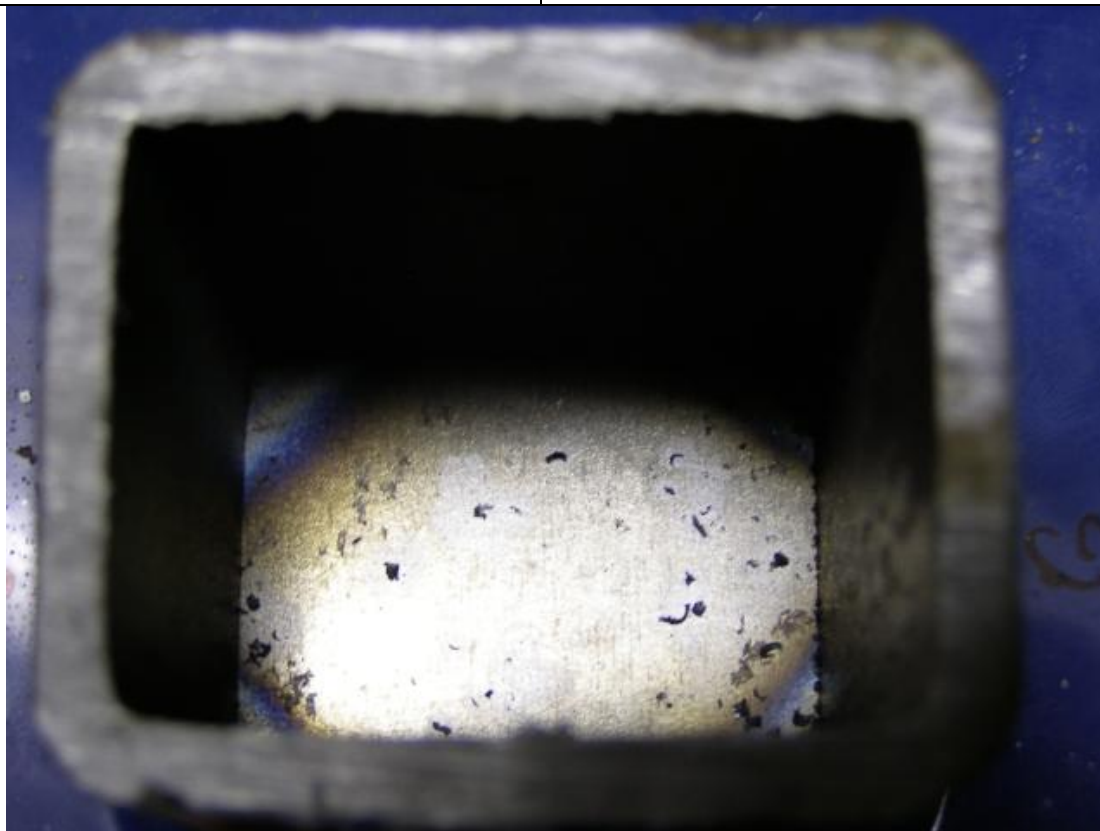
Obr. 7.4.12 – Profil drsnosti vzorku 7 v oblasti silné koroze.

Tab. 7.4.2 – Dokumentace vnitřních prostor zkušebních vzorků

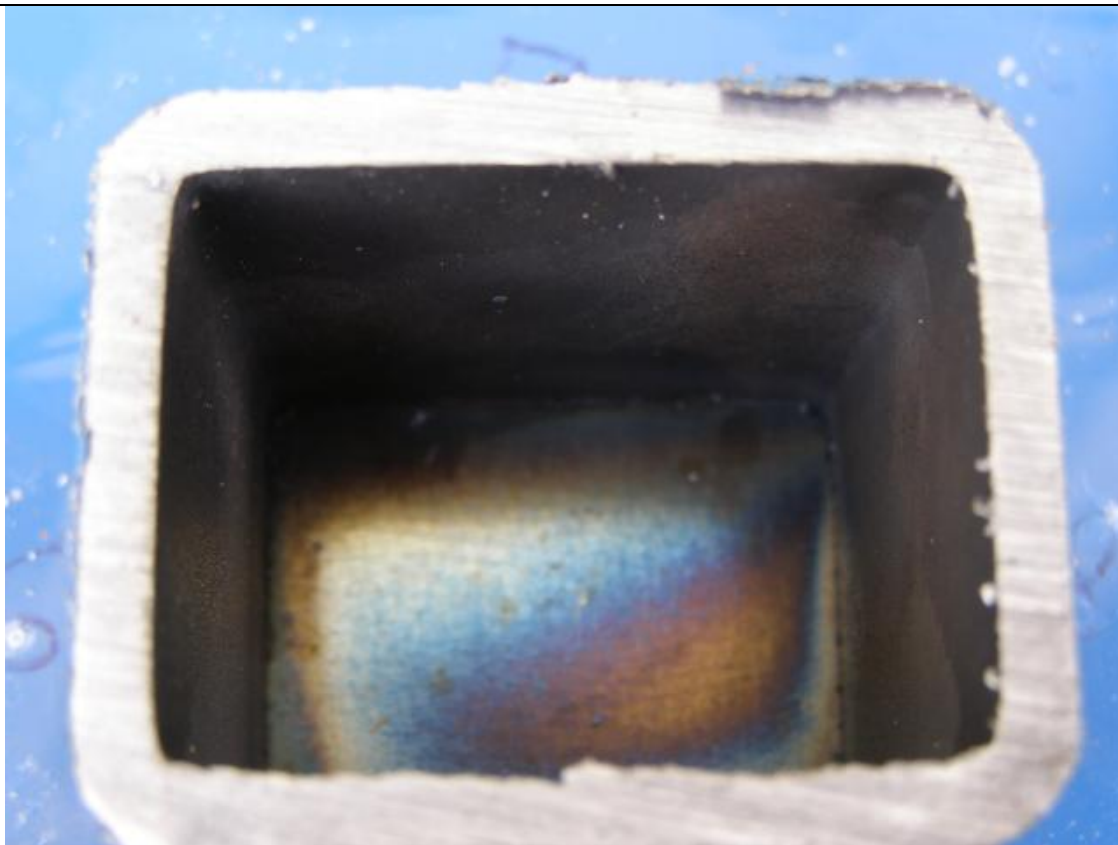
Vzorek 2 – Dokumentace vnitřních prostor konstrukce vzorku po 240 hodinách v korozní komoře. Povrch zkorodován v místních mapách především na dvou stěnách.



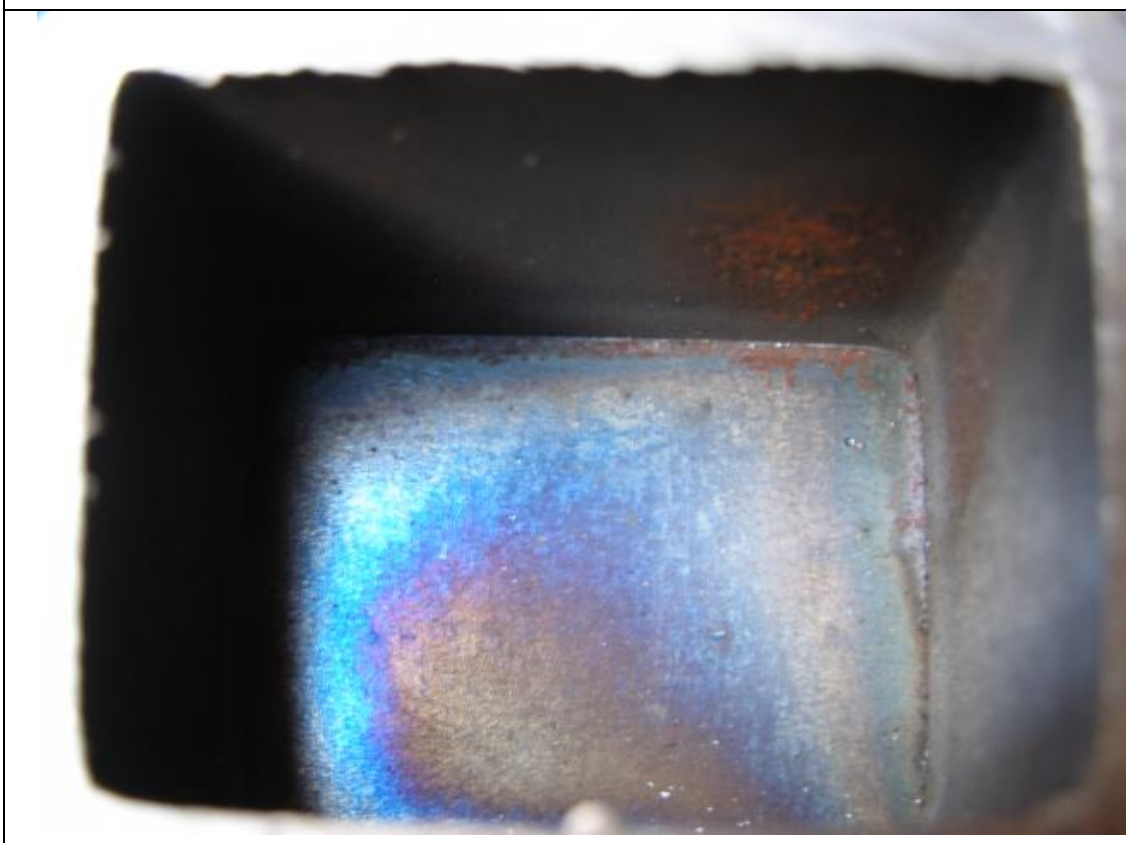
Vzorek 3 – Dokumentace vnitřních prostor konstrukce vzorku po 240 hodinách v korozní komoře. Povrch zkorodován v místních mapách.



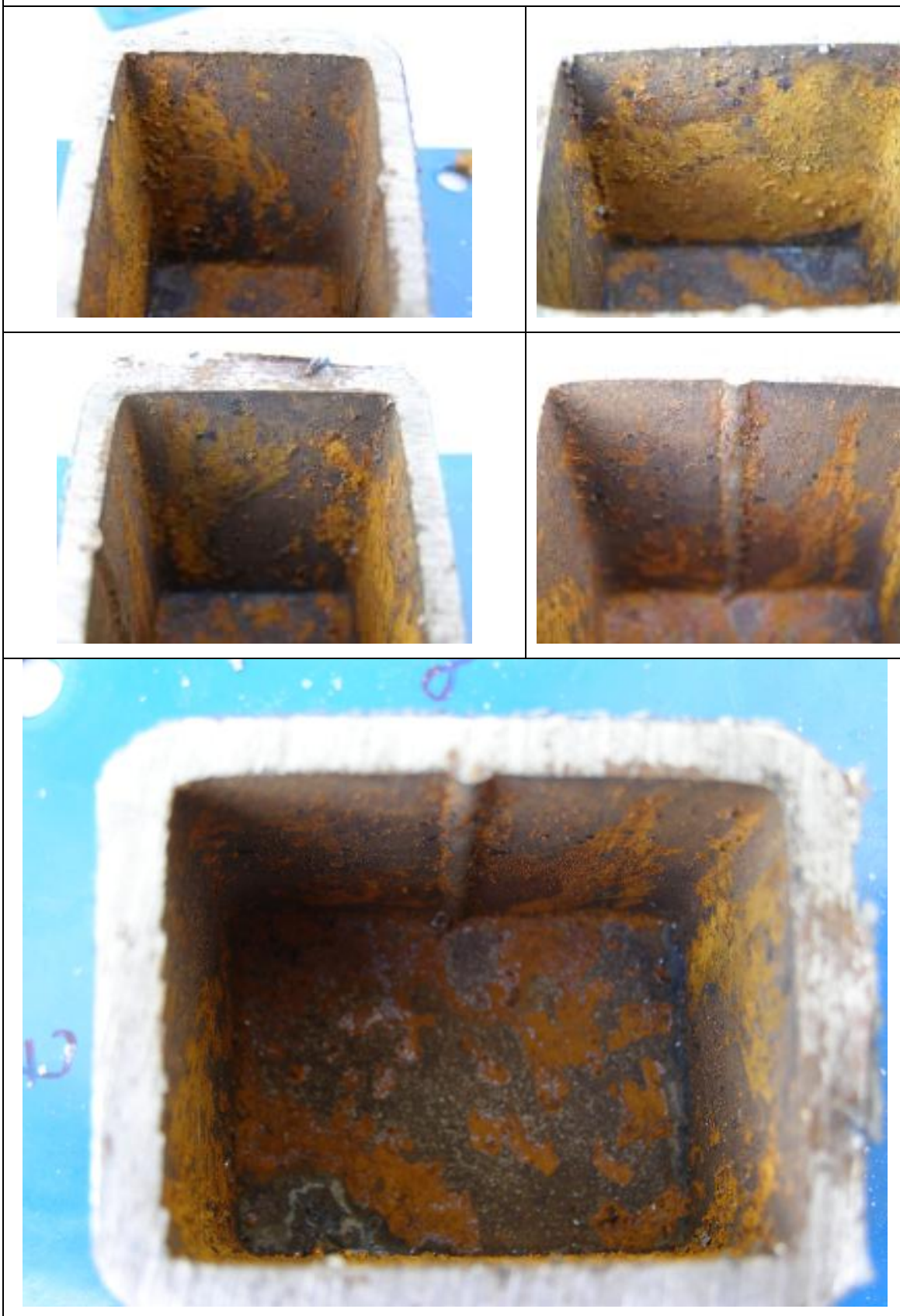
Vzorek 4 – Dokumentace vnitřních prostor konstrukce vzorku po 240 hodinách v korozní komoře. Na povrchu opticky nelze sledovat korozi.



Vzorek 5 – Dokumentace vnitřních prostor konstrukce vzorku po 240 hodinách v korozní komoře. Na povrchu pozorovatelná pouze místní koroze způsobená vnitřní kondenzací v prostorech konstrukce.



Vzorek 6 – Dokumentace vnitřních prostor konstrukce vzorku po 240 hodinách v korozní komoře. Povrch nerovnoměrně pokryt korozi na většinové části. Místy hrubá koroze, nesouvislá (krátery, bubliny, vyvřeliny), kterou nelze měřit.



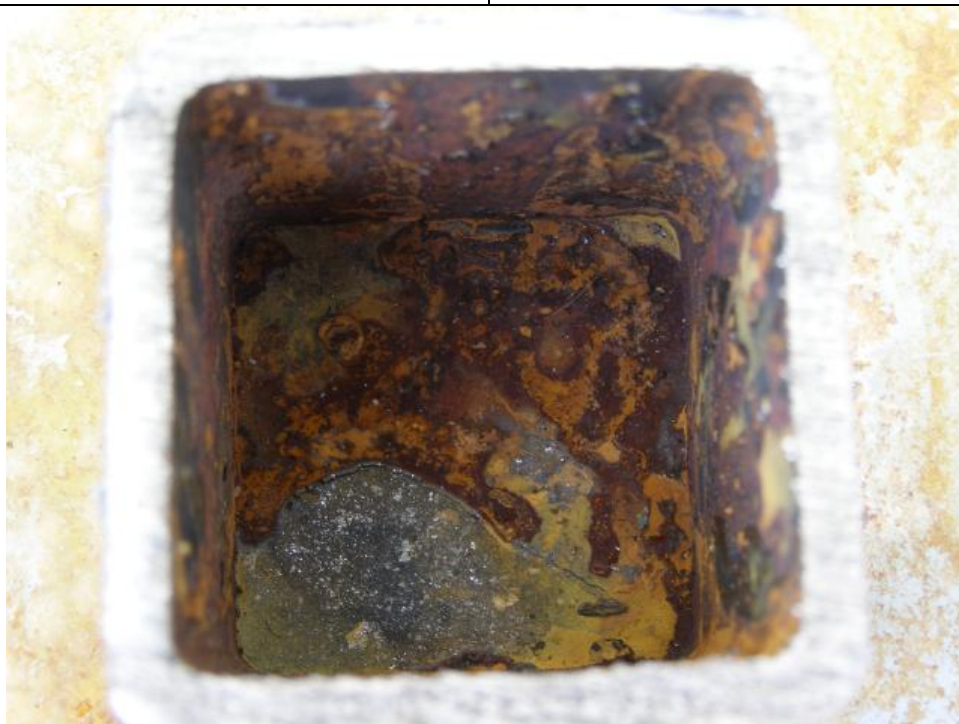
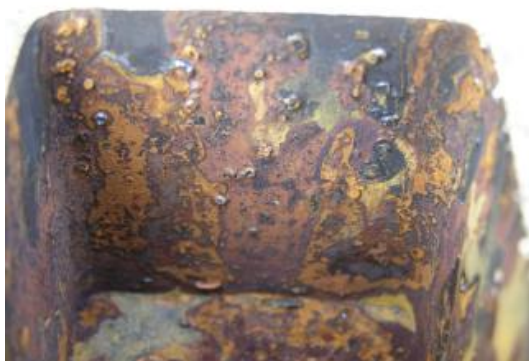
Vzorek 7 – Dokumentace vnitřních prostor konstrukce vzorku po 240 hodinách v korozní komoře. Povrch nerovnoměrně pokryt korozí na většinové části.



Vzorek 8 – Dokumentace vnitřních prostor konstrukce vzorku po 480 hodinách v korozní komoře. Povrch má natolik silnou vrstvu koroze, která je nesouvislá (krátery, bubliny, vyvřeliny), že nelze provést měření drsnosti. Viditelné usazení korozních produktů ve směru zkoseného zavěšení při zkouškách v korozní komoře.



Vzorek 9 – Dokumentace vnitřních prostor konstrukce vzorku po 480 hodinách v korozní komoře. Povrch má natolik silnou nesouvislou vrstvu koroze, (krátery, bubliny, vyvřeliny), že nelze provést měření drsnosti. Zřetelné korozní mapy rovnoměrně rozloženy po celé části vnitřních ploch.



Vzorek 10 – Dokumentace vnitřních prostor konstrukce vzorku po 480 hodinách v korozní komoře. Povrch má natolik silnou nesouvislou vrstvu koroze, (krátery, bubliny, vyvěřeliny), že nelze provést měření drsnosti. Koroze nepravidelně rozložena po vnitřních plochách vzorku.



Podmínky laboratoře

Teplota vzduchu:	22°C
Vlhkost vzduchu:	53%

Vyhodnocení zkoušky

Měření drsnosti vnitřních ploch zkušebních vzorků bylo provedeno na každém vzorku, který umožňoval použití měřicího přístroje. Nebylo tak možné měřit vzorky 8, 9 a 10, které měly povrch ve vnitřních prostorech natolik poničen nerovnoměrnou silnou vrstvou koroze s krátery, bublinami a vyvřelinami, že nebylo možné vůbec měření provést. Byly tak měřeny vzorky 1 až 7, přičemž u vzorku 6 bylo nutné měření pouze některých méně zkorodovaných částí plochy, jelikož ostatní opět nebyly měřitelné. Naopak u vzorků 4 a 5 bylo poškození koroze natolik malé, že bylo možné měřit pouze opticky čistý povrch spolu s malým množstvím koroze v malých mapách.

Zkouška měření drsnosti prokázala jasné zhoršení drsnostních podmínek povrchu zkorodovaných částí a tedy i výskyt oxidačních produktů.

Zajímavým jevem se ukázalo naměření skoku v profilu plochy některých vzorků, jenž je u daných vzorků přiloženo v podobě měřeného profilu. Tento jev je následkem výrobních vad při výrobě jackelového profilu.

8 ZÁVĚR

V této diplomové práci jsem se zabýval technologií povrchových úprav nátěrů práškových povlaků, u nichž se vyskytovaly korozní vady v oblastech koutových spojů, ve kterých docházelo k vytékání korozních zplodin vlivem kondenzace na vnitřních plochách neošetřených částí konstrukce. V teoretické části podrobně popisuji současný stav technologie práškového lakování v daném podniku. Dále jsem řešil příčiny vzniku korozních vad na lakovaných dílcích a jejich možná řešení.

V experimentální části jsem zkoumal vznik korozních vad na vzorcích simulujících reálnou konstrukci. Tyto korozní vady byly zkoumány díky urychlení v korozní komoře solnou mlhou. Díky praktickému porovnání bylo zjištěno šedesáti násobné urychlení, díky čemuž byl získán dobrý přehled o době výskytu jednotlivých stádií korozního napadení daných vzorků. Korozními zkouškami byla dále zjištěna nedostatečná protikorozní úprava rohových partií konstrukcí, které byly následně upraveny jak konstrukčně, tak technologií povrchové úpravy. Pomocí tří variant zkušebních vzorků ve formě kompletně zavařených dílců, vzorků se zkosenými hranami dutého profilu a vzorků se zalitými spárami mokrou metodou nanášení barev byly získány kompletní výsledky o nejlepším vhodném použití v praxi.

Další provedené zkoušky, nadále pouze potvrdily výsledky korozních testů a utvrdily tak výsledné rozhodnutí o nejvhodnější metodě. Při zkoušce měření drsnosti vnitřních prostor jednotlivých vzorků po ukončení jejich expozice v korozní komoře a následném rozřezání byly změřeny drsnosti zoxidovaných částí povrchu a porovnány s částmi opticky nenapadenými korozi. Vzorky upravené současnou technologií však po expozici 480 hodin v korozní komoře nebylo možné měřit, jelikož byl jejich vnitřní povrch pokryt silnou nepravidelnou korozi s bublinami, krátery a vyvřelinami. Vzorky, u nichž bylo možné měření provést potvrdily zhoršení kvality povrchu materiálu vlivem vzniku korozních produktů.

Poslední zkouška měření tloušťky vrstvy suchého nátěru měla ověřit podobné hodnoty tloušťek jednotlivých vzorků. Doporučených hodnot vrstev nátěru však dosáhl pouze referenční vzorek, který nebyl zkoušen v korozní komoře. Vzorky zkoušené vykazovaly velmi odlišné tloušťky vrstev, což je důsledkem měření na povrchu znečištěném korozními produkty z korozní komory, jejichž tloušťka zvětšuje rozměr celkové vrstvy povlaku vzorků.

Jako nejvhodnější metoda úpravy daných vzorků a následně i dílů konstrukce v praktickém využití firmy Loader Novotný pro stavbu lesních a stavebních strojů byla zvolena metoda zatěsnění rohových spár vzorků pomocí barvy mokrou metodou, tedy tradičním nanášením štětcem do okolí spáry. Po následném otryskání vyzrálého nátěru je možné již tradičním postupem nanést práškový nátěr.

Vzhledem k tomu, že je nutné práškové nátěry po jejich aplikaci stříkáním dále vypálit ve vytvrzovací komoře, musí i použitá barva pro mokrou metodu zalévání spár odolávat teplotám ve vytvrzovací peci. Jelikož je aplikovaný práškový povlak daných konstrukcí vytvrzován při teplotě 190°C, musí minimálně této hodnotě odpovídat i použitelná teplota zvolené barvy. Pro účely korozních zkoušek a výrobu zkušebních vzorků bylo použito barvy Henetherm firmy Henelit, která je používána ve firmě Loader pro povrchové úpravy výfukových soustav strojů. Jelikož je tento nátěrový systém již ve firmě používán, je z hlediska ekonomického nejvýhodnější jeho další používání i v případě zalévání koutových spár konstrukcí, kde se toto využití ukázalo jako správné.

Případnou alternativou vhodného nátěru jsou barvy firmy Ameron patřící do řady nátěrových hmot pro použití ve vysokých teplotách. Mezi tyto produkty patří nátěrové systémy Amercoat 741 s tepelnou odolností 450°C, 878 s tepelnou odolností 540°C a 891 s tepelnou odolností 204°C. Vzhledem k používané teplotě následného vytvrzování práškových povlaků zkoumaných dílů 190°C je dostatečnou volbou typ nátěru Ameron Amercoat 891 s tepelnou odolností 204°C.

I přes navrhovanou alternativu nátěrového systému vhodného pro použití k zalévání koutových spár kovových konstrukcí firmy Loader novotný pro zabránění vzniku korozních zplodin na vnitřních plochách konstrukce je nejvýhodnější variantou pro daný podnik i v praktickém použití používat nátěrový systém Henetherm. Přes mírné navýšení výrobních nákladů o zvýšení potřeby nátěru Henetherm tato varianta povrchové předúpravy před vlastním práškovým nástřikem zabrání vzniku korozních produktů v okolí kritických spár konstrukcí. Nepatrné zvýšení výrobních nákladů o vyšší spotřebu tohoto nátěru tak lehce vyváží získání lepší image firmy při prodeji a předávce výrobků zákazníkovi ve stavu neporušeného, nekorodovaného produktu.

LITERATURA

- [1] PODJUKLOVÁ, Jitka. *Speciální technologie povrchových úprav I*. 1. Vydání. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 1994.
- [2] MOHYLA, Miroslav. *Technologie povrchových úprav kovů*. 3. vydání. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2006
- [3] ŠVÉDA, Zdeněk. *Povrchová úprava kovu před aplikací práškových povlaků*. Ostrava: Bakalářská práce, VŠB - Technická univerzita Ostrava. 2007.
- [4] KLIMA-TESTTECHNIKEN.NL [online]. C2003, [cit. 2009-10-4]
< <http://www.klima-testtechnik.nl/producten/corossietesten/corossiekisten.php>>
- [5] LIEBISCH.COM [online]. C2000, [cit. 2009-10-4]
< http://www.liebisch.com/englisch/html/chest_type_units.htm>
- [6] KRAUS, V. *Povrchy a jejich úpravy*. Plzeň: ZČU Plzeň, 2000. 174 s.
- [7] ZATLOUKAL, P., ŠVÉDA, Z. *Protikorozní nátěrové systémy a jejich aplikace v praxi* Ostrava: Výuková publikace, VŠB - Technická univerzita Ostrava. 2008.
- [8] HENELIT.CZ [online]. C1996, [cit. 2009-10-4]
< <http://www.henelit.cz/technicke-listy/Henotherm.pdf>>

SEZNAM TABULEK

Tab. 2.2.1	- Technologický postup stávající technologie práškového povlakování.	13
Tab. 2.2.2	- Vytvrzovací doby pro práškové povlaky jednotlivých vrstev.....	14
Tab. 3.1	- Studie nátěrových hmot.....	19
Tab. 3.2	- Technické údaje nátěrových hmot INVERPUL PE-EX RAL 7042....	20
Tab. 3.3	- Technické údaje nátěrových hmot INVERPUL PE-P-Q BIANCO RAL 1013, INVERPUL PE-P-Q BLEU RAL 5001, INVERPUL PE P-E NERO RAL 9005.....	21
Tab. 4.1	- Hodnocení rychlosti koroze materiálů.....	23
Tab. 4.2	- Korozní potenciály vybraných materiálů.....	27
Tab.5.1	- Příčiny a řešení vzniku vad u nátěrových práškových povlaků.....	42
Tab. 7.1	- Technická data nátěrového systému Henotherm.....	47
Tab. 7.2.1	- Technická specifikace korozní komory Liebisch S 400 M-TR.....	49
Tab. 7.2.2	- Charakteristika a dělení zkušebních vzorků.....	51
Tab. 7.2.3	- Výsledky korozních zkoušek.....	52
Tab. 7.3.1	- Stanovení tloušťky suchého laku.....	64
Tab. 7.4.1	- Stanovení drsnosti profilu.....	67
Tab. 7.4.2	- Dokumentace vnitřních prostor zkušebních vzorků.....	74

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2.1	– Pistole EKP M+Z1.....	18
Obr. 4.1	– Dělení korozního napadení.....	24
Obr. 4.2	– Tloušťka a charakter oxidové vrstvy v závislosti na hodnotě Pillingova Bedwordova čísla.....	26
Obr.5.2.1	– Viditelná koroze v místech mezi svary konstrukce.....	44
Obr.5.2.2	– Bližší pohled na korozi způsobenou vytékáním oxidačních produktů po vnitřní neošetřené ploše konstrukce.....	44
Obr.5.2.3	– Rozvíjející se koroze v hranové spáře konstrukce.....	45
Obr.5.2.4	– Vytékající koroze vzniklá kondenzací na vnitřních plochách.....	45
Obr. 7.1	– Náskres vzorků.....	46
Obr. 7.2	– Korozní komora Liebisch S 400 M-TR.....	49
Obr. 7.3	- ELCOMETER 456 Basic.....	64
Obr.7.4.1	– Drsnoměr MITUTOYO Surf test SJ – 301.....	67
Obr.7.4.2	– Profil naměřené drsnosti vzorku 1.....	67
Obr.7.4.3	– Profil naměřené drsnosti vzorku 2 na zkorodovaných plochách povrchu.....	68
Obr.7.4.4	– Profil naměřené drsnosti vzorku 2 na nezkorodovaných plochách.....	68
Obr.7.4.5	– Profil zkorodovaného povrchu vzorku 3.....	69
Obr.7.4.6	– Měřený profil a profil drsnosti čistého povrchu vzorku 3, na měřeném profilu je viditelný skok v profilu povrchu měřeného materiálu.....	69
Obr.7.4.7	– Měřený profil a profil drsnosti zkušební vzorku 4 bez viditelné koroze. Na vzorku je pozorovatelný zub v povrchu materiálu.....	70
Obr.7.4.8	– Profil drsnosti vzorku 5 v malé části zkorodovaného povrchu.....	71
Obr.7.4.9	– Měřený profil a profil drsnosti vzorku 5 v oblasti bez pozorovatelné koroze. Viditelný skok v profilu měřeného materiálu.....	71
Obr.7.4.10	– Měřený profil a profil drsnosti vzorku 7 v oblasti velké koroze.....	71
Obr.7.4.11	– Profil drsnosti vzorku 7 v oblasti běžné koroze.....	71
Obr.7.4.12	– Profil drsnosti vzorku 7 v oblasti silné koroze.....	72

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1 - Bezpečnostní list INVERPUL PRIMER EPOSSIDICO FZ GRIGIO
RAL 7042

Příloha č. 2 - Bezpečnostní list INVERPUL POLYESTER/Q RAL 1013

Příloha č. 3 - Technický list HENELIT HENOTHERM

Příloha č. 4 - Technický list AMERON AMERCOAT 741

Příloha č. 5 - Technický list AMERON AMERCOAT 878

Příloha č. 6 - Technický list AMERON AMERCOAT 891